

TBDY-2018, Kısım 16
DEPREM ETKİSİ ALTINDA TEMEL ZEMİNİ VE
TEMELLERİN
TASARIMI İÇİN ÖZEL KURALLAR
Örnek Hesaplar

26.01.2023
İMO, Ankara

Sunum İçeriği



- Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı
- Deprem etkisi altında bodrum perdelerine gelen yüklerin hesabı
- Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı
- Basitleştirilmiş zemin sıvılaşma değerlendirmesi
- Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

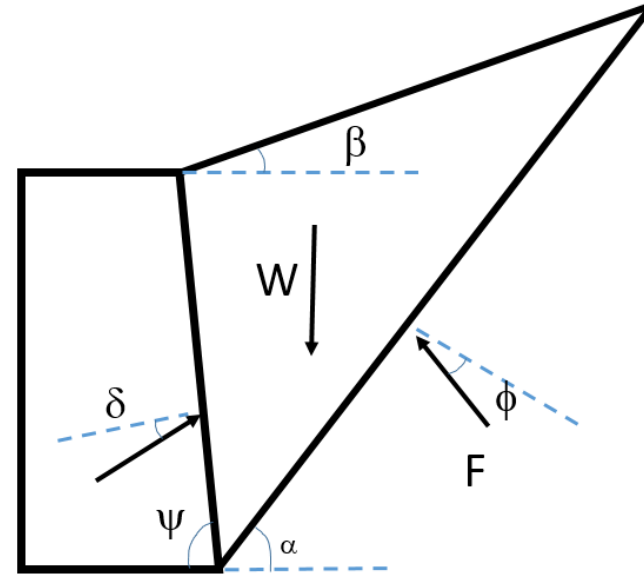
ÖRNEK 1

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

TBDY 16.12 Deprem etkisi altında dayanma yapılarının tasarımı için genel kuralları içermektedir.

Temel yaklaşım, Mononobe-Okabe yöntemi olarak da bilinen eşdeğer statik yöntemidir. Kolaylıkla uygulanabildiğinden dolayı Mononobe-Okabe yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Aslında bu yöntem granül zemin için eşdeğer statik deprem yüklemesine dayanan Coulomb teorisinin sismik bir versiyonudur.



Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r} \quad k_v = 0.5k_h$$

Tablo 16.7. Dayanma Yapıları için r katsayıları

Dayanma Yapısının Tipi	r
En fazla $120S_{DS}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	2.0
En fazla $80S_{DS}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	1.5
Ankrajlı duvarlar, yerdeğiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar	1.0

Yüksek boşluk suyu basıncı artışları meydana gelebilecek doygun zeminlerin bulunması durumunda, r katsayısının değeri 1'den büyük alınmamalıdır.

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Devrilme

$$E_{dev} \leq \frac{R_{dev}}{\gamma_{Rdev}}$$

E_{dev} : devrilmeye zorlayan etkilerin toplamı

R_{dev} : devrilmeye karşı koyan etkilerin ve dirençlerin toplamı

γ_{Rdev} : devrilmeye karşı tasarım güvenlik katsayısı ($\gamma_{Rdev} \geq 1.3$)

Kayma

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt}$$

V_{th} : temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti

R_{th} : tasarım sürtünme direnci

R_{pt} : tasarım pasif direnci

- Dayanma yapısı temelinde zemin taşıma gücünün aşılması Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü hesaplarına benzer şekilde yapılacaktır. Bu konunun uygulaması üçüncü örnekte anlatılmaktadır.

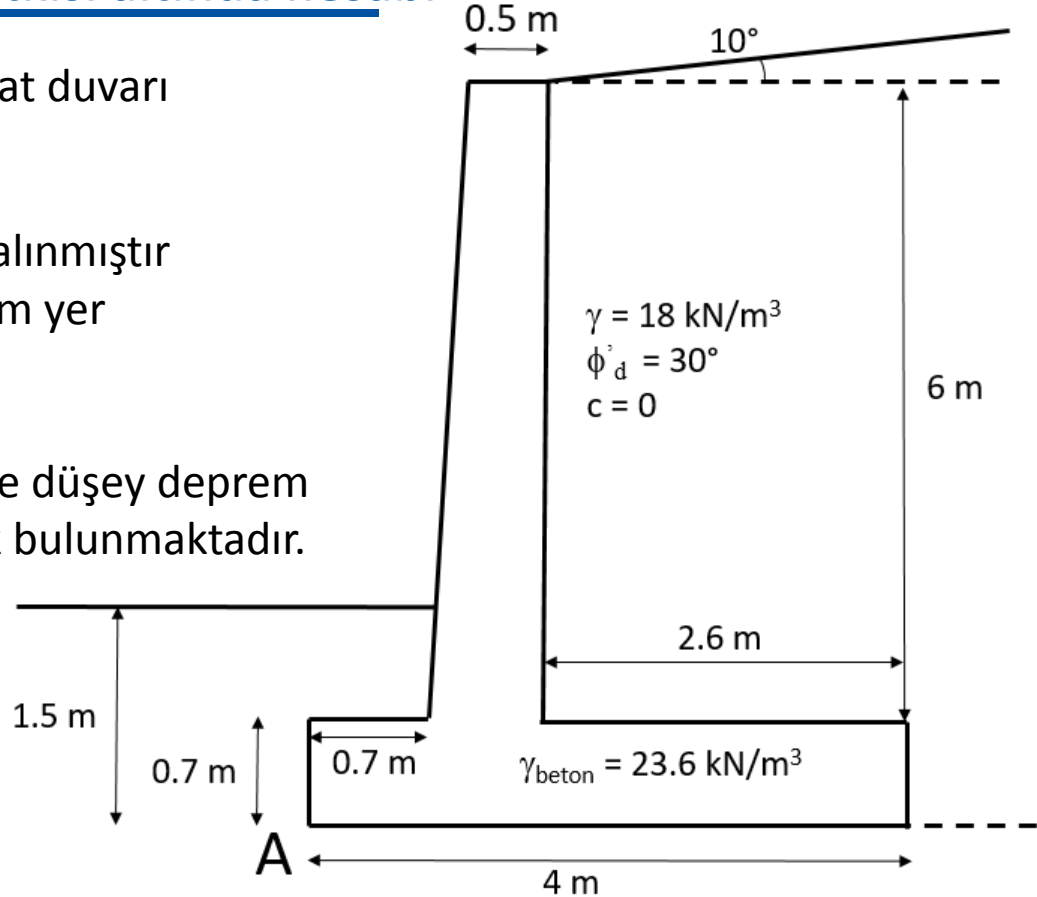
Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Bu örnekte betonarme konsol istinat duvarı incelenmiştir.

S_{DS} değeri 0.5, r parametresi ise 2 alınmıştır (duvarın en fazla $120S_{DS}$ yani 60 mm yer değiştirmesine izin verilmiştir).

Bu değerler kullanıldığında yatay ve düşey deprem katsayıları $k_h=0.1$ ve $k_v=0.05$ olarak bulunmaktadır.

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r} \quad k_v = 0.5k_h$$



Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Aktif toprak basıncı **TBDY Denklem 16.24a** kullanılarak $\phi'_d = 30^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $\psi = 90^\circ$, $\delta_d = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ$ değerleri için $K_a = 0.374$ olarak hesaplanmıştır ($\beta \leq \phi'_d - \theta$)

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} = 0.374$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma K_a H^2 = \frac{1}{2} \times 18 \times 0.374 \times 7.158^2 = 172.46 \text{ kN/m}$$

Bu kuvvetin düşey ve yatay bileşenlerine ayrılması gerekmektedir

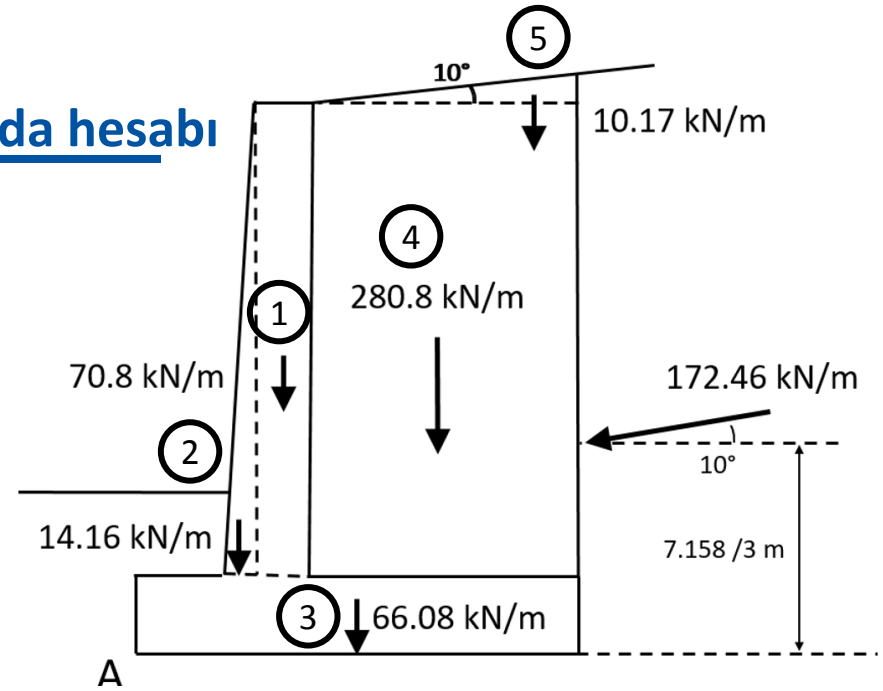
$$P_{av} = P_a \sin b = 172.46 \times \sin 10 = 29.95 \text{ kN/m}$$

$$P_{ah} = P_a \cos b = 172.46 \times \cos 10 = 169.84 \text{ kN/m}$$

Aktif kuvvet tabandan 1/3 H uzaklıkta etki eder.

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Statik durumun incelenmesi için duvar kesiti bölgelere bölünmüştür. Bu bölgelerin ağırlıkları, A noktasına olan moment kolları ve momentleri tabloda verilmiştir.



Kesit	Kuvvet (kN/m)	Moment Kolu (m)	Moment (kN.m/m)
1	$0.5 \times 6 \times 23.6 = 70.8$	1.15	81.42
2	$6 \times 0.2 / 2 \times 23.6 = 14.16$	0.83	11.8
3	$0.7 \times 4 \times 23.6 = 66.08$	2	132.16
4	$6 \times 2.6 \times 18 = 280.8$	2.7	758.16
5	$0.458 \times 2.6 / 2 \times 18 = 10.717$	3.13	33.58
P_v	29.94	4	119.76
P_h	169.84	$7.158 / 3$	405.24

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Düşey Eşdeğer Deprem Kuvvetinin Yukarı Yönde Olduğu Durum

İlk olarak k_v değeri pozitif alınarak yukarı yönlü etki değerlendirilecektir. Bu durumda sismik aç **TBYD Denklem 16.26a** kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.1}{1 - 0.05} \right) = 6.01$$

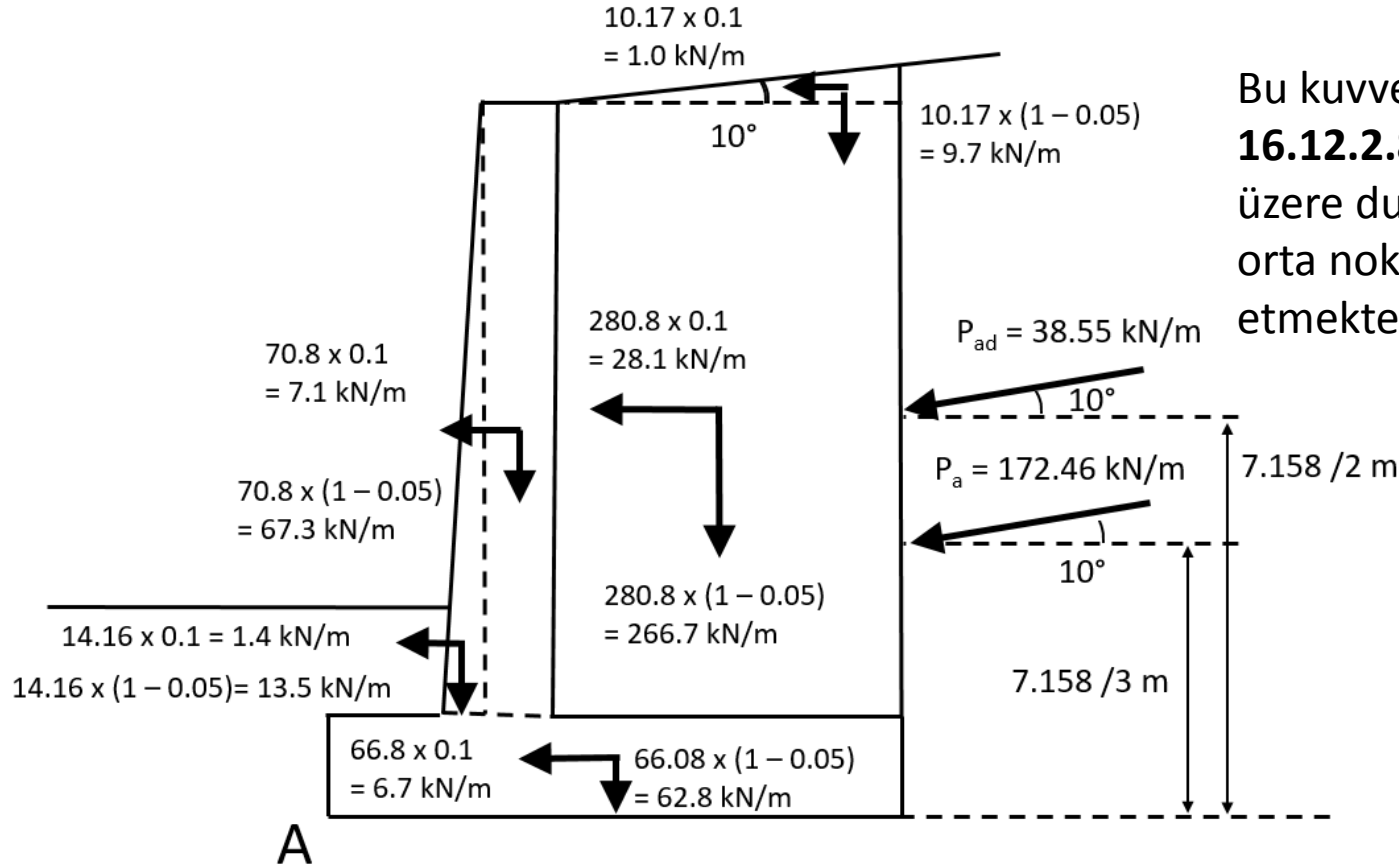
Toplam aktif toprak basıncı **TBDY Denklem 16.24a** kullanılarak $\phi'_d = 30^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $\psi = 90^\circ$, $\delta_d = 0^\circ$, $\theta = 6.00^\circ$ değerleri kullanılarak $K_{at} = 0.462$ olarak hesaplanmıştır ($\beta \leq \phi'_d - \theta$). **TBDY 16.12.2.7'**de belirtildiği üzere dinamik toprak basınç katsayısı, toplam basınç katsayısından statik basınç katsayısını çıkarılmasıyla elde edilir.

$$K_{ad} = K_{at} - K_a = 0.462 - 0.374 = 0.088$$

Dinamik eşdeğer-statik kuvvet bu katsayı yardımıyla hesaplanır

$$P_{ad} = \frac{1}{2} (1 - k_v) \gamma K_{ad} H^2 = \frac{1}{2} \times (1 - 0.05) \times 18 \times 0.088 \times 7.158^2 = 38.55 \text{ kN/m}$$

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı



Bu kuvvet **TBDY 16.12.2.8**'de belirtildiği üzere duvar yüksekliğinin orta noktasına etki etmektedir.

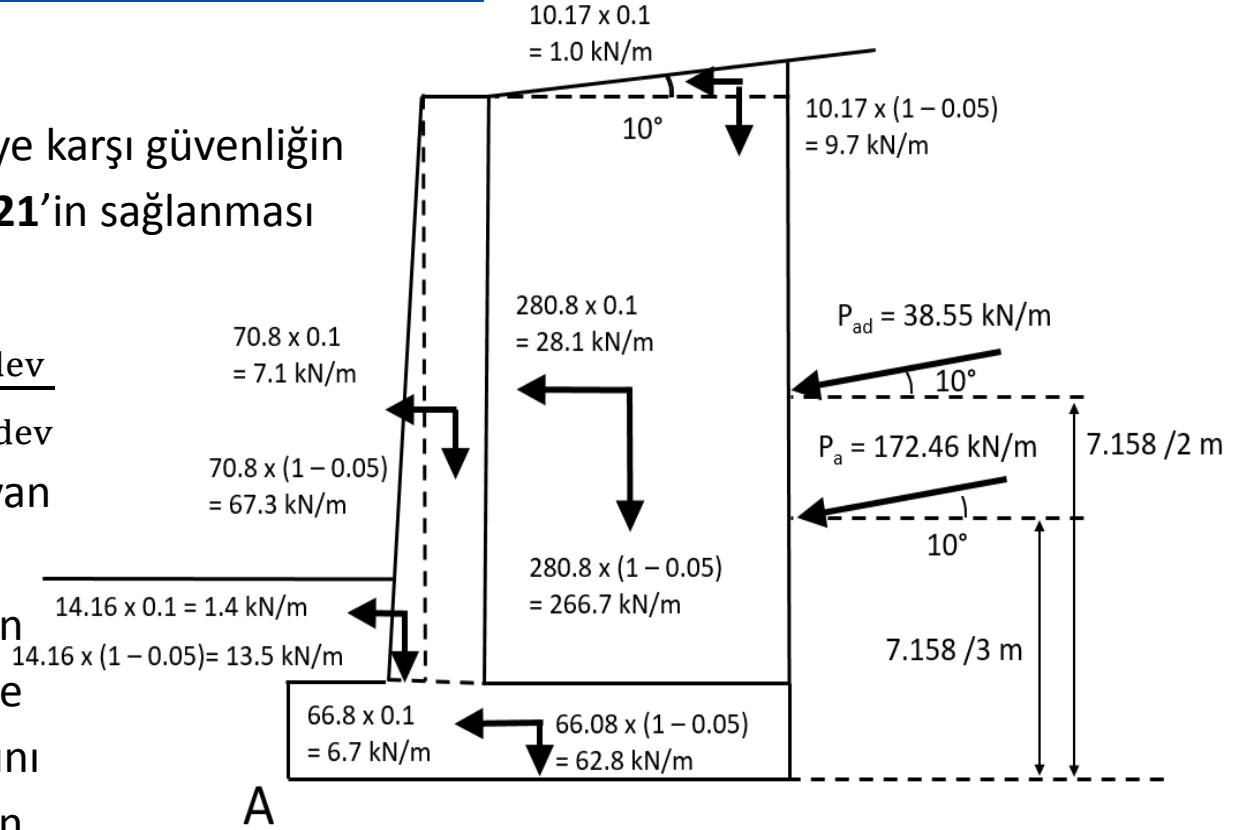
Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Devrilmeye Karşı Güvenlik

Deprem durumunda devrilmeye karşı güvenliğin olması için **TBDY Denklem 16.21**'in sağlanması gerekmektedir

$$E_{dev} \leq \frac{R_{dev}}{\gamma_{Rdev}}$$

Burada E_{dev} devrilmeye zorlayan etkilerin toplamını, R_{dev} devrilmeye karşı koyan etkilerin toplamını, γ_{Rdev} ise devrilmeye karşı tasarım güvenlik katsayısını ifade etmektedir. Bu değerin en az 1.3 olması önerilmektedir.



Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Devrilmeye zorlayan etkilerin toplamı aşağıda hesaplanmıştır

$$E_{\text{dev}} = 6.7 \times 0.35 + 1.4 \times 2.7 + 7.1 \times 3.7 + 28.1 \times 3.7 + 1.0 \times 6.85 + 172.45 \\ \times \cos 10^\circ \times 2.386 + 38.55 \times \cos 10^\circ \times 3.579 = 684.3 \text{ N.m/m}$$

Devrilmeye karşı koyan etkilerin toplamı aşağıda hesaplanmıştır

$$R_{\text{dev}} = 62.8 \times 2 + 13.4 \times 0.83 + 67.3 \times 1.15 + 266.7 \times 2.7 + 9.4 \times 3.13 + 172.45 \\ \times \sin 10^\circ \times 4 + 38.55 \times \sin 10^\circ \times 4 = 1110.2 \text{ kN.m/m}$$

Bu değerler kullanıldığında **TBDY Denklem 16.21**'de verilen eşitsizlik sağlanmakta olduğundan duvar deprem durumunda devrilmeye karşı güvenlidir:

$$684.3 \text{ kN.m/m} \leq \frac{1110.2}{1.3} = 854 \text{ kN.m/m}$$

$$E_{\text{dev}} \leq \frac{R_{\text{dev}}}{\gamma_{R\text{dev}}}$$

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Kaymaya Karşı Güvenlik

Kaymaya karşı güvenlik hesabı için **TBDY 16.8.4**'de yüzeysel temellerin yatayda kayma prensipleri kullanılacaktır. Yatayda kayma kontrolü için **TBDY Denklem 16.9**'da verilen eşitsizliğin sağlandığının gösterilmesi gereklidir

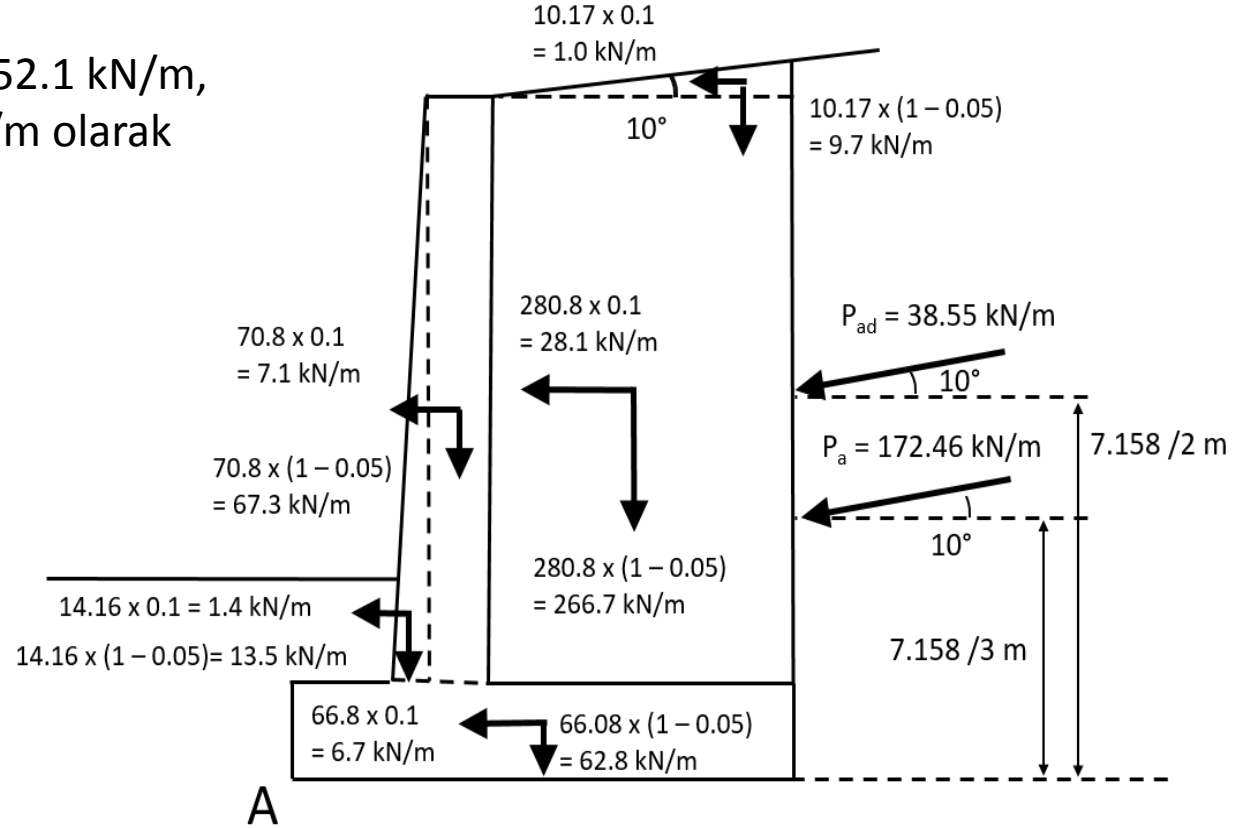
$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt}$$

Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini göstermektedir.

Tasarım pasif direnci karakteristik pasif dayanımın, **TBDY Tablo 14.2**'de verilen dayanım katsayısına (pasif direnç için 1.4) bölünerek elde edilmelidir.

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Kuvvetlerin yatay toplamı 252.1 kN/m,
düşey toplamı ise 456.6 kN/m olarak
bulunmuştur



Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Pasif toprak basıncı katsayısı $\phi'_d = 30^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $\psi = 90^\circ$, $\theta = 6.01^\circ$ değerleri için $K_p = 2.81$ olarak hesaplanmıştır. Toplam karakteristik pasif direnç

$$R_{pt} = \frac{1}{2} (1 - k_v) \gamma K_p H^2 = \frac{1}{2} \times (1 - 0.05) \times 18 \times 2.81 \times 1.5^2 = 54.1 \text{ kN/m}$$

Tasarım pasif direnci bu sayının **TBDY Tablo 16.2**'de verilen pasif direnç dayanım katsayısına (1.4) bölünerek bulunur

$$R_{pt} = R_{pt} / 1.4 = 54.1 / 1.4 = 38.6 \text{ kN/m}$$

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Duvarın altında oluşacak kayma direnci, duvarın sıkıştırılmış taban zemini üzerine yapıldığı bilgisini kullanarak (**TBDY Tablo 16.3**) **TBDY 16.8.4.2'**de önerildiği şekilde hesaplanabilir

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{rh}} = \frac{456.6 \times 0.6}{1.1} = 249.1 \text{ kN/m}$$

Buna göre yatayda kayma kontrolü için yukarıda verilen eşitsizlik aşağıdaki gibi yazılabilir

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt}$$
$$252.1 \text{ kN/m} \leq 249.1 + 0.3 \times 38.6 = 260.7 \text{ kN/m}$$

Duvar kaymaya karşı güvenlidir.

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Düşey Eşdeğer Deprem Kuvvetinin Aşağı Yönde Olduğu Durum

İlk olarak k_v değeri pozitif alınarak yukarı yönlü etki değerlendirilecektir. Bu durumda sismik açısı **TBYD Denklem 16.26a** kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 + k_v} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.1}{1 + 0.05} \right) = 5.44$$

Toplam aktif toprak basıncı **TBDY Denklem 16.24a** kullanılarak $\phi'_d = 30^\circ$, $\beta = 10^\circ$, $\psi = 90^\circ$, $\delta_d = 0^\circ$, $\theta = 5.44^\circ$ değerleri kullanılarak $K_{at} = 0.462$ olarak hesaplanmıştır ($\beta \leq \phi'_d - \theta$). **TBDY 16.12.2.7'**de belirtildiği üzere dinamik toprak basınç katsayısı, toplam basınç katsayısından statik basınç katsayısını çıkarılmasıyla elde edilir.

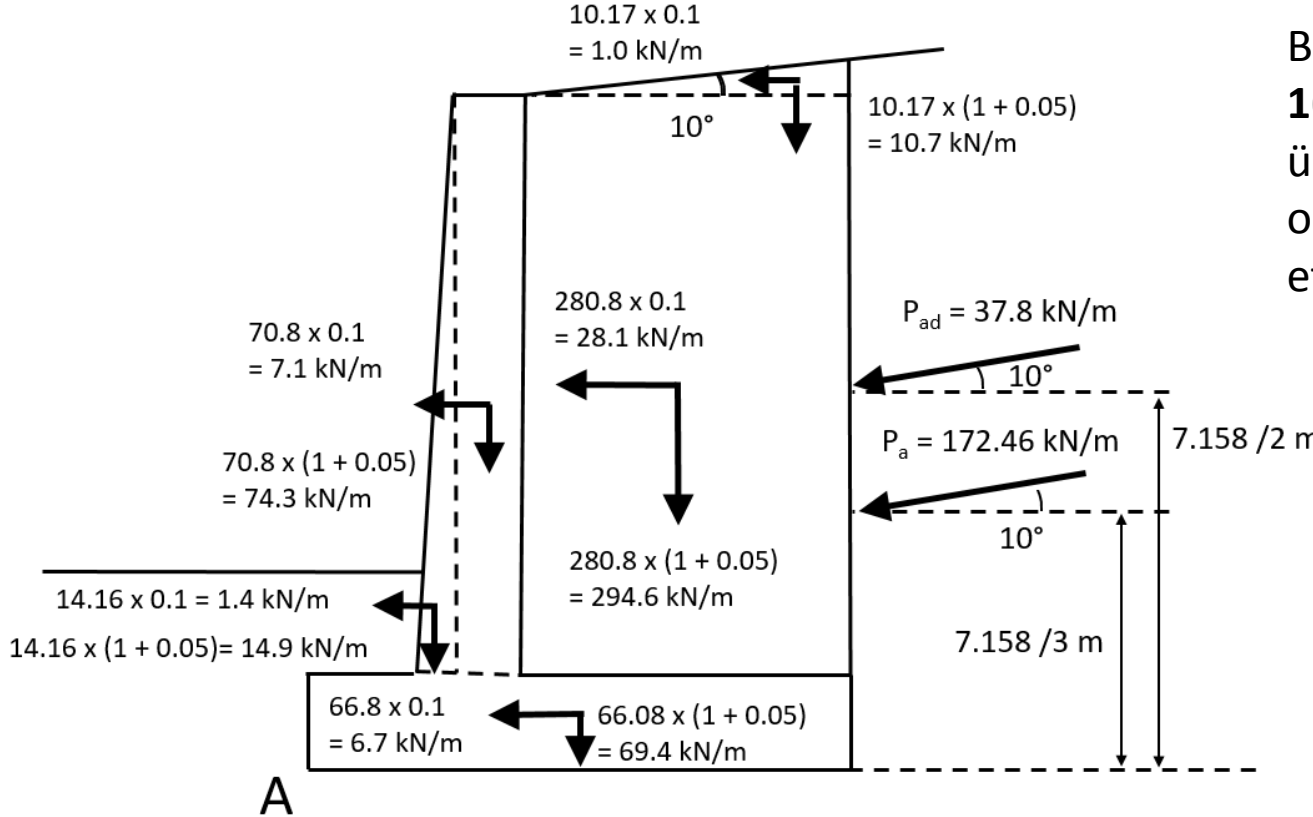
$$K_{ad} = K_{at} - K_a = 0.452 - 0.374 = 0.078$$

Dinamik eşdeğer-statik kuvvet bu katsayı yardımıyla hesaplanır

$$P_{ad} = \frac{1}{2} (1 + k_v) \gamma K_{ad} H^2 = \frac{1}{2} \times (1 + 0.05) \times 18 \times 0.078 \times 7.158^2 = 37.8 \text{ kN/m}$$

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Bu kuvvet **TBDY 16.12.2.8**'de belirtildiği üzere duvar yüksekliğinin orta noktasına etki etmektedir.



Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Devrilmeye zorlayan etkilerin toplamı aşağıda hesaplanmıştır

$$E_{dev} = 6.7 \times 0.35 + 1.4 \times 2.7 + 7.1 \times 3.7 + 28.1 \times 3.7 + 1.0 \times 6.85 + 172.45 \\ \times \cos 10^\circ \times 2.386 + 37.8 \times \cos 10^\circ \times 3.579 = 681.6 \text{ N.m/m}$$

Devrilmeye karşı koyan etkilerin toplamı aşağıda hesaplanmıştır

$$R_{dev} = 69.4 \times 2 + 14.9 \times 0.83 + 74.3 \times 1.15 + 294.6 \times 2.7 + 10.7 \times 3.13 + 172.45 \\ \times \sin 10^\circ \times 4 + 37.8 \times \sin 10^\circ \times 4 = 1211.6 \text{ kN.m/m}$$

Bu değerler kullanıldığında **TBDY Denklem 16.21**'de verilen eşitsizlik sağlanmakta olduğundan duvar deprem durumunda devrilmeye karşı güvenlidir:

$$681.6 \text{ kN.m/m} \leq \frac{1211.6}{1.3} = 932 \text{ kN.m/m}$$

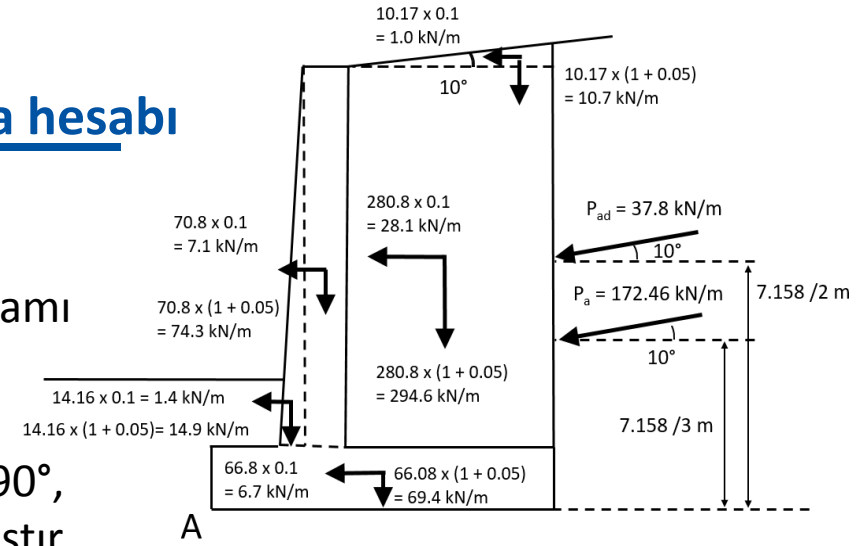
$$E_{dev} \leq \frac{R_{dev}}{\gamma_{Rdev}}$$

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Kaymaya Karşı Güvenlik

Kuvvetlerin yatay toplamı 252.1 kN/m, düşey toplamı ise 456.6 kN/m olarak bulunmuştur.

Pasif toprak basıncı katsayısı $\phi'_d = 30^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $\psi = 90^\circ$, $\theta = 5.44^\circ$ değerleri için $K_p = 2.83$ olarak hesaplanmıştır.



$$R_{pt} = \frac{1}{2} (1 + k_v) \gamma K_p H^2 = \frac{1}{2} \times (1 + 0.05) \times 18 \times 2.83 \times 1.5^2 = 60.2 \text{ kN/m}$$

$$R_{pt} = R_{pt} / 1.4 = 60.2 / 1.4 = 43 \text{ kN/m}$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{rh}} = \frac{500.4 \times 0.6}{1.1} = 272.9 \text{ kN/m}$$

Buna göre yatayda kayma kontrolü için yukarıda verilen eşitsizlik aşağıdaki gibi yazılabilir

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3 R_{pt}$$

$$251.4 \text{ kN/m} \leq 272.9 + 0.3 \times 43 = 285.8 \text{ kN/m}$$

Deprem etkisi altında bodrum perdelerine gelen yüklerin hesabı

ÖRNEK 2

Deprem etkisi altında bodrum perdelerine gelen yüklerin hesabı

TBDY 16.11 Binaların bodrum perdelerine etkiyen statik ve dinamik zemin basınçlarının nasıl hesaplanması konusu üzerinedir.

Tablo 16.6. Bodrum Perdelerine Etkiyen Statik Zemin Basınçları

Bodrum Perdesinin Dışındaki Zeminin Cinsi	Basıncın Etkidiği Yükseklik	Zemin Basıncı (p)
Kohezyonsuz zemin	Tüm yükseklik boyunca	$0.2(\gamma^*H_b + q)$
Yumuşak – orta katı kohezyonlu zemin	Üst %20 boyunca	$0.2(\gamma^*H_b + q)$
	Alt %80 boyunca	$0.3(\gamma^*H_b + q)$
Katı – sert kohezyonlu zemin	Tüm yükseklik boyunca	$0.3(\gamma^*H_b + q)$
Not: Bodrum perdesi arkasında su olmaması durumunda, $\gamma^* = \gamma$ alınacaktır. Bodrum perdesinin kısmen su altında olması durumunda, su seviyesinin üzerinde $\gamma^* = \gamma$ ve su seviyesinin altında $\gamma^* = (\gamma_d - \gamma_{su})$ alınacak, ayrıca su üst seviyesinden itibaren aşağıya doğru zemin basıncına statik su basıncı ($p_{su} = \gamma_{su}z$) eklenecektir. Statik su basıncı dışında tüm zemin basınçları düzgün yayılı olarak etki ettirilecektir.		

Zeminin doğrusal olmayan biçimde idealleştirildiği, aşırı boşluk suyu basınçlarının dikkate alındığı ve çevre bodrum perdelerini oluşturan yapısal elemanları içeren **duvar-zemin etkileşim modelleri ile hesap yapılmadığı durumlarda**, zemin basınçları tabloda verildiği şekilde hesaplanabilir.

H_b : bodrum perdesinin toplam yüksekliği

γ : zeminin tabii birim hacim ağırlığı

γ_d : suya doymuş birim hacim ağırlığı

q : ek yükü (sürşarj)

z : su yüzeyinden aşağıya doğru ölçülen yükseklik

Deprem etkisi altında bodrum perdelerine gelen yüklerin hesabı

Bu bölümde kohezyonsuz, dinamik olarak geçirgen zeminde yapılan Şekil'de şematik olarak gösterilen duvarlarda statik ve dinamik kuvvetlerin hesaplanması örneklenmiştir.

Kısa periyot spektral ivme katsayısı S_{DS} değeri mevcut problem için 0.8 olarak alınmıştır.



Deprem etkisi altında bodrum perdelerine gelen yüklerin hesabı

Statik Yükler

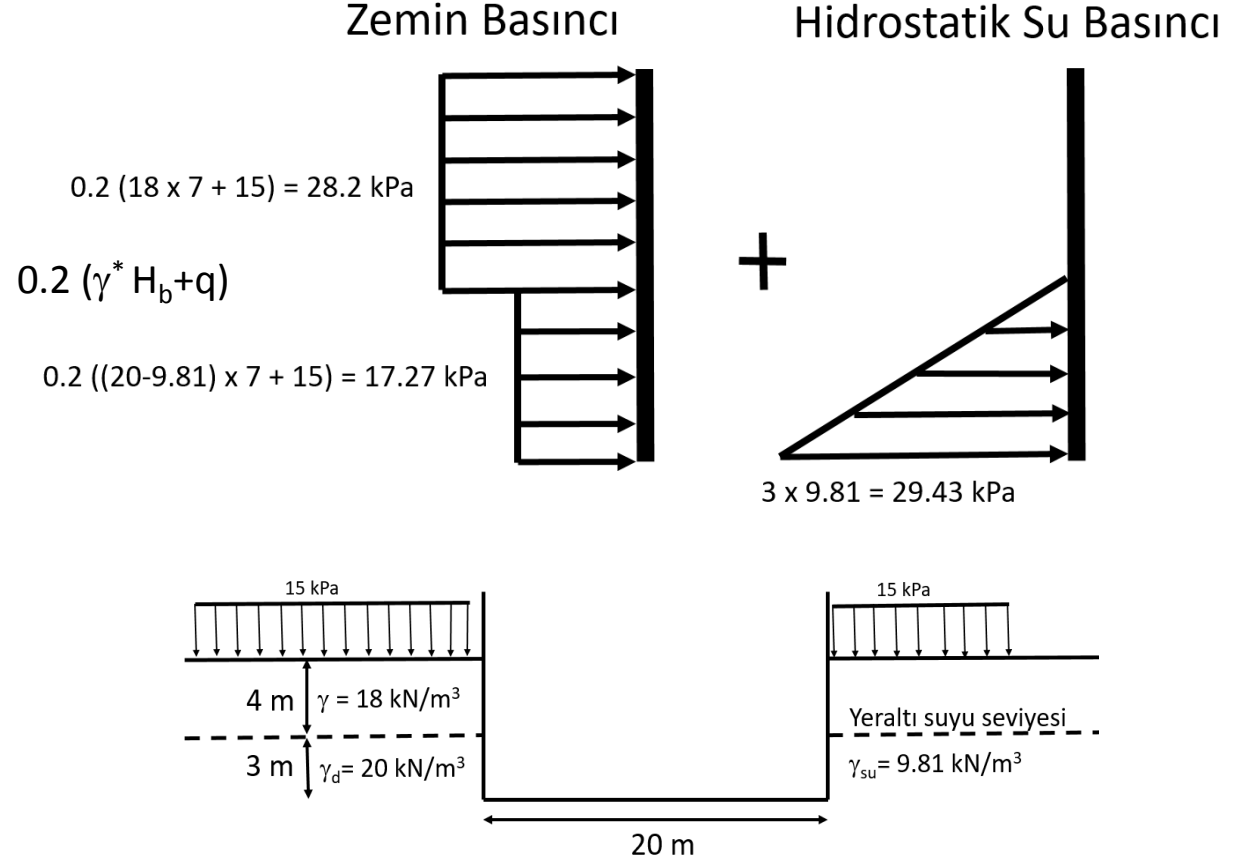
Statik durum **TBDY Tablo 16.6** kullanılarak incelenecektir. Bu tabloya göre kohezyonsuz zeminlerdeki duvarlara tüm bodrum yüksekliği boyunca $0.2 (\gamma^* H_b + q)$ büyüklüğünde düzgün yayılı yük uygulanmalıdır.

Tablo 16.6. Bodrum Perdelerine Etkiyen Statik Zemin Basınçları

Bodrum Perdesinin Dışındaki Zeminin Cinsi	Basıncın Etkidiği Yükseklik	Zemin Basıncı (p)
Kohezyonsuz zemin	Tüm yükseklik boyunca	$0.2 (\gamma^* H_b + q)$
Yumuşak – orta katı kohezyonlu zemin	Üst %20 boyunca	$0.2 (\gamma^* H_b + q)$
	Alt %80 boyunca	$0.3 (\gamma^* H_b + q)$
Katı – sert kohezyonlu zemin	Tüm yükseklik boyunca	$0.3 (\gamma^* H_b + q)$
Not: Bodrum perdesi arkasında su olmaması durumunda, $\gamma^* = \gamma$ alınacaktır. Bodrum perdesinin kısmen su altında olması durumunda, su seviyesinin üzerinde $\gamma^* = \gamma$ ve su seviyesinin altında $\gamma^* = (\gamma_d - \gamma_{su})$ alınacak, ayrıca su üst seviyesinden itibaren aşağıya doğru zemin basıncına statik su basıncı ($p_{su} = \gamma_{su} z$) eklenecektir. Statik su basıncı dışında tüm zemin basınçları düzgün yayılı olarak etki ettirilecektir.		

Deprem etkisi altında bodrum perdelerine gelen yüklerin hesabı

Birim hacim ağırlık su olmaması durumunda γ alınacaktır. Kısmen su olması durumunda, su seviyesinin üzerinde γ , su seviyesinin altında $\gamma_d - \gamma_{su}$ (suya doymun birim hacim ağırlığı ve suyun birim hacim ağırlığının farkı) alınmalıdır.



Deprem etkisi altında bodrum perdelerine gelen yüklerin hesabı

Deprem Yükleri

Deprem etkisi altında ek zemin basınçları **TBDY Denklem 16.18**'in kullanılmasıyla hesaplanır

$$\Delta p = 0.4 S_{DS} \gamma H_b$$

Yönetmelikte zemin yapısının değişken olma durumunda nasıl bir hesap yapılacağı anlatılmamıştır. Zeminin dinamik olarak geçirgen kabul edilmesinden dolayı ayrıca dinamik su basıncı etki ettirileceğinden, zeminin birim ağırlığının yeraltı su seviyesinin üzerinde 18 kN/m^3 , yeraltı su seviyesinin üzerinde ise $20 \text{ kN/m}^3 - 9.81 \text{ kN/m}^3$ alınması uygun görülmüştür.

Deprem etkisi altında bodrum perdelerine gelen yüklerin hesabı

TBDY Denklem 16.19 kohezyonsuz, zeminin dinamik olarak geçirgen kabul edilebileceği durumlarda dinamik su basıncının hesaplanmasını sağlamaktadır

$$\Delta p_{su} = \frac{7}{8} 0.4 S_{DS} \gamma_{su} \sqrt{z d_{su}}$$

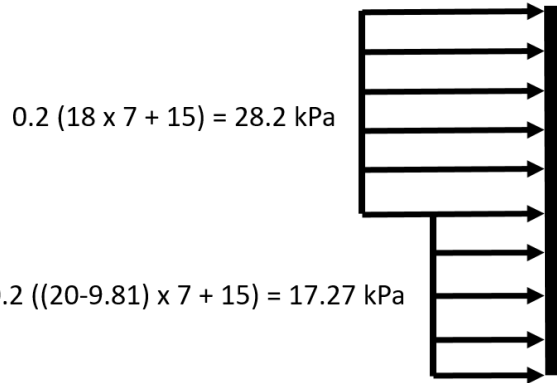
Bu denklemde d_{su} su altındaki duvar yüksekliğini göstermektedir. Toplam dinamik su basıncı bu denklemin integrali alınarak aşağıdaki gibi elde edilir

$$\Delta P_{su} = \frac{7}{12} 0.4 S_{DS} \gamma_{su} d_{s1}^2$$

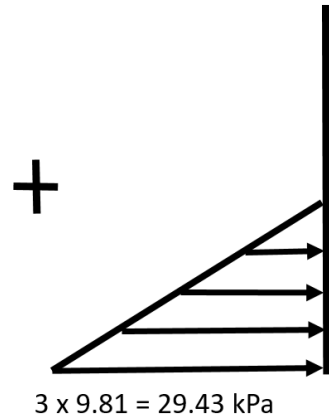
Dinamik su yükünün etki noktası yeraltı su seviyesinin $0.6d_{su}$ kadar altındadır.

Dayanma yapılarının deprem etkisi altında hesabı

Zemin Basıncı



Hidrostatik Su Basıncı

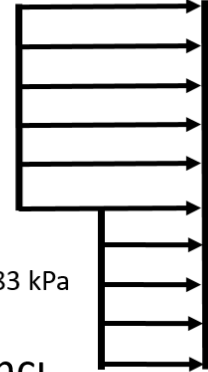


Dinamik Zemin Basıncı

$$\Delta p = 0.4 S_{DS} \gamma H_b$$

$$0.4 \times 0.8 \times 18 \times 7 = 40.32 \text{ kPa}$$

$$0.4 \times 0.8 \times (20 - 9.81) \times 7 = 22.83 \text{ kPa}$$



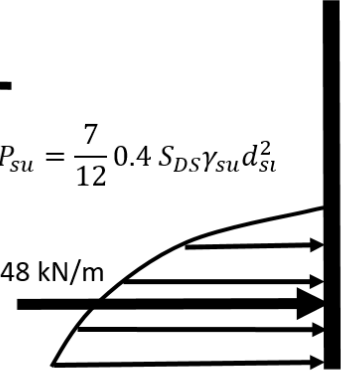
Dinamik Su Basıncı

$$\Delta P_{su} = \frac{7}{12} 0.4 S_{DS} \gamma_{su} d_{su}^2$$

16.48 kN/m

$$7 / 8 \times 0.4 \times 0.8 \times 9.81 \times 3 = 8.24 \text{ kPa}$$

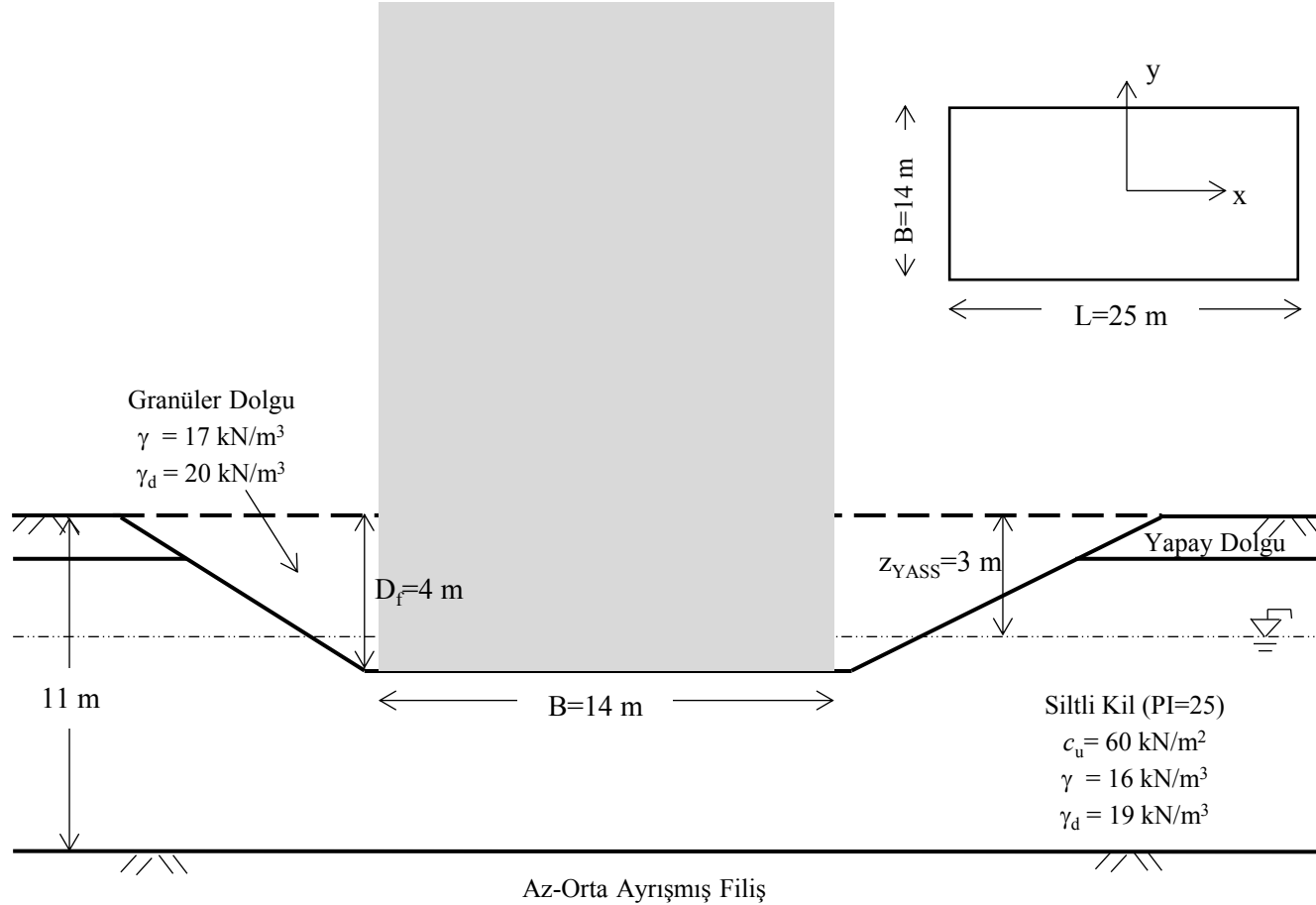
$$\Delta p_{su} = \frac{7}{8} 0.4 S_{DS} \gamma_{su} \sqrt{z d_{su}}$$



Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı

ÖRNEK 3

Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı



Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı

Radye temele tesir eden yükler **TBDY 4.4.2** ve **4.4.3** ile uygun olarak belirlenmiştir.

Yük bileşenleri	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN·m/m)	M_y (kN·m/m)
1	1139	4283	45306	86256	124531
2	1151	4292	36626	80184	104456

$$1: G + Q + 0.2S + E_d^{(x)} + 0.3E_d^{(y)}$$

$$2: 0.9 G + E_d^{(x)} + 0.3E_d^{(y)}$$

Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı

- **TBDY 16.8.3.2'**ye göre **TBDY Denklem 16.8** ile temel taşıma gücünün *karakteristik dayanımı* q_k hesaplanmalıdır.
- **TBDY 16.3.2'**e göre, kohezyonlu zeminlerde toplam gerilme analizleri için drenajsız kayma mukavemeti kullanılacaktır. Bu sebeple, toplam gerilme analizi için **TBDY Denklem 16.8'** $c=c_u$ ve $\phi'=0$ kabulü ile hesap için sadeleştirilebilir:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \cdot \tan^2(45^\circ + \phi'/2) = 1$$

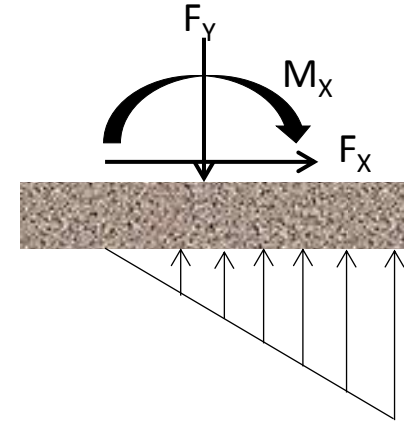
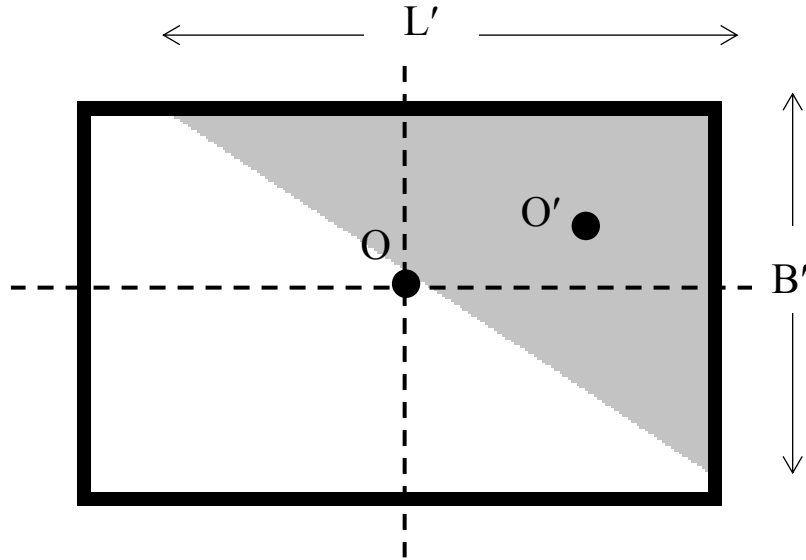
$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi' = 0$$

$$N_c = 2 (N_q - 1) \cot \phi' = \pi + 2 = 5.14 \quad (\phi' \rightarrow 0 \text{ için limit değeri})$$

- $\phi' = 0$ için **TBDY Denklem 16.8.a** aşağıdaki şekilde basitleşir:

$$q_k = 5.14 c_u s_c d_c i_c g_c b_c + q s_q d_q i_q g_p b_c$$

Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı



Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı

- $q \cong D_f \cdot \gamma = 4.00 \cdot 16 = 64.00 \text{ kN/m}^2$ (temel alt kotu seviyesinde sürşarj yükü)

- Dışmerkezli düşey yükün tesirinin ($M_x > 0, M_y > 0$):

$$B' = B - 2e_x = B - 2 M_x / F_z = 14.0 - 86256 / 45306 = 12.10 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_y = L - 2 M_y / F_z = 25.0 - 124531 / 45306 = 22.25 \text{ m}$$

- Kullanılacak *boyutsuz düzeltme katsayıları* temel tasarımı hakkındaki teknik dokümanlardan sağlanabilmektedir. Örneğin,

$$s_c = 1 + (B/L) \cdot (N_q / N_c) = 1.105 \quad (B = B', B = L')$$

$$s_q = 1 + (B/L) \cdot \tan\phi = 1.000 \quad (\phi = \phi' = 0)$$

$$d_c = 1 + 0.4 (D_f / B) = 1.127 \quad (D_f = 4.00 \text{ m, temel derinliği})$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan\phi \cdot (1 - \sin\phi)^2 \cdot (D_f / B) = 1.000$$

$$i_c = i_q = (1 - \beta/90^\circ)^2 = 0.880 \quad : \beta = \text{atan}(\sqrt{F_x^2 + F_y^2} / F_z) = 5.59^\circ$$

$$g_c = g_q = 1 \text{ (eğimsiz saha), } b_c = b_q = 1 \text{ (yatay temel tabanı)}$$

Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı

- Yukarıdaki boyutsuz *düzeltilme katsayılarının* **TBDY Denklem 16.8.a** ($\phi' = 0$) ile kullanılmasıyla

$$q_k = 394 \text{ kN/m}^2$$

- Temel tasarım dayanımı ise **TBDY 16.7** ve **TBDY Tablo 16.2** ile hesaplanır:

$$q_t = q_k / \gamma_{RV} = 394 / 1.4 = \underline{281} \text{ kN/m}^2$$

- Temel taban basıncı, düşey yükün etkin temel alanına bölünerek bulunur:

$$A_c = B' \cdot L' = 12.10 \cdot 22.25 = 269 \text{ m}^2$$

$$q_o = F_z / A_c = 45306 / 269 = \underline{169} \text{ kN/m}^2$$

- Bu sonuçlar, **TBDY Denklem 16.6'**da verilen eşitsizlik ile mukayese edildiğinde, temelin taşıma gücünün yeterli olduğu sonucuna varılmıştır:

$$q_o \leq q_t \quad \checkmark$$

Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı

Yatay kayma direnci:

- **TBDY 16.8.4.4'e** göre kohezyonlu zeminlerde *tasarım sürtünme direnci*:

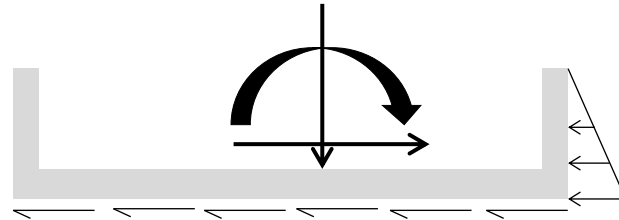
$$R_{TH} = A_c \cdot c_u / \gamma_{Rh} = 269 \cdot 60 / 1.1 = \underline{14672} \text{ kN}$$

- **TBDY Denklem 16.12'**ye göre *tasarım pasif direnci* R_{pT} hesaplanmalıdır:

- $K_p = (1 + \sin \phi') / (1 - \sin \phi') = 3.25$ ($\phi' = 32^\circ$ kN/m² için *karakteristik pasif direnç katsayısı*)
- $P_p = 0.5 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot z_{YASS}^2 + K_p \cdot \gamma \cdot (D_f - z_{YASS}) \cdot z_{YASS} + 0.5 \cdot K_p \cdot (\gamma_d - \gamma_{su}) \cdot (D_f - z_{YASS})^2 = 430.6 \text{ kN/m}$

temelin geniş tarafında (y yönüne dik bodrum perdesine) tesir eden toplam *karakteristik pasif direnç*:

- $R_{pk} = L \cdot P_p = 10765 \text{ kN}$
- $R_{pT} = R_{pk} / \gamma_{pk} = 10765 / 1.4 = \underline{7689} \text{ kN}$



Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı

Tasarım yatay kuvveti, statik ve deprem yüklerinin birlikte ele alınması ile hesaplanır.

- Hesaplarda en yüksek yük eğikliğinin (F_x / F_z veya F_y / F_z) olduğu ikinci yük bileşeni dikkate alınmıştır. Bu bileşene ayrıca *yatay zemin itkisi* (**TBDY Denklem 4.12**) eklenmelidir.

Yük bileşenleri	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN·m/m)	M_y (kN·m/m)
1	1139	4283	45306	86256	124531
2	1151	<u>4292</u>	36626	80184	104456

- Burada hesaplar en yüksek yük eğikliği yönünde (F_y / F_z) gösterilmiştir. **TBDY 16.8.4.1** bu değerlendirmenin statik ve deprem yüklerini içeren her yükleme durumunda incelenmesini talep etmektedir.
- Statik zemin basıncı **TBDY Tablo 16.6** doğrultusunda hesaplanır:
su seviyesinin üstünde: $P = 0.2 (\gamma H_b + q)$
su seviyesinin altında: $P = 0.2 ((\gamma_d - \gamma_{su}) \cdot H_b + q)$
 $q=5 \text{ kN/m}^2$ değeri kabul edilmiştir.

Yüzeysel temel için taşıma gücü ve kayma hesabı

- **TBDY Denklem 16.18 :** $\Delta p = 0.4 \cdot S_{DS} \cdot \gamma \cdot H_b$ (Deprem etkisi altında ek zemin basıncı)

- Toplam statik ve dinamik zemin itkisi (birim perde genişliği için):

$$P = 0.2 (\gamma H_b + q) \cdot z_{YASS} + 0.2 ((\gamma_d - \gamma_{su}) \cdot H_b + q) \cdot (H_b - z_{YASS}) + 0.4 \cdot S_{DS} \cdot \gamma \cdot H_b \cdot H_b = 134.4 \text{ kN/m}$$

- **TBDY Denklem 16.20:** Yeraltı suyu seviyesinin altında ayrıca ek dinamik su yükü (birim):

$$\Delta P_{su} = (7/12) (0.4 S_{DS}) \cdot \gamma_{su} \cdot d_{su}^2 = (7/12) (0.4 \cdot 0.750) \cdot 9.8 \cdot (4.00 - 3.00)^2 = 1.7 \text{ kN/m}$$

- Toplam yatay zemin itkisi :

$$H = (P + \Delta P_{su}) \cdot L = \underline{3403} \text{ kN}$$

- **TBDY Denklem 4.12 tasarım yatay kuvveti :** $V_{th} = F_y + H = 4292 + 3403 = \underline{7695} \text{ kN}$

- **TBDY Denklem 16.9 :** $V_{th} \leq R_{th} + 0.3 R_{pt} \rightarrow 7695 \leq 14672 + 0.3 \cdot 7689 \quad \checkmark$

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi

ÖRNEK 4

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi

TBDY EK16B Standart Penetrasyon Deneyine (**SPT**) bağlı basit bir yöntem sunmaktadır.

Sıvılaşma değerlendirilmesinin yapılacağı her derinlik için:

- doğal zemin kotundan incelemenin yapılacağı derinliğe kadar zeminlerin **birim ağırlıkları** ve **yeraltı suyu seviyesi**:
- değerlendirmenin yapılacağı zeminin **ince dane içeriği** (ID_I), **plastisite endeksi** (PI)
- bu değerlendirmenin yapıldığı derinlikte **SPT sonucu**,
- numune alıcı tipi, sondaj delgi çapı, enerji oranı (veya, SPT için sırasıyla **C_S**, **C_B**, **C_E** **düzeltilme faktörleri**)
- sahada kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}), tasarım depremi büyüklüğü (M_w).

tdth.afad.gov.tr : S_{DS} = 0.75

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi

TBDY Tablo 16B.1 tipik SPT düzeltme katsayılarını sunmaktadır. ***Veri raporunda, $C_S = 1.0$ (standart numune alıcı), $C_B = 1.0$ (10 cm kuyu çapı), $C_E = 1.0$ (ER=%60, otomatik darbeleri tokmak) olduğu bildirilmiştir.***

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3m ile 4m aralığında	0.75
	4m ile 6m aralığında	0.85
	6m ile 10m aralığında	0.95
	10m'den derin	1.00
C_S	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1.00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
C_B	Çap 65mm-115mm arasında	1.00
	Çap 150mm	1.05
	Çap 200mm	1.15
C_E	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeleri tokmak	0.90-1.60

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi (SPT)

Tij boyu düzeltme katsayısı (C_R) ve derinlik düzeltme katsayısı (C_S) hesapla belirlenir:

- **TBDY Denklem 16B.2:** $C_N = 9.78 / (\sigma_{v0}')^{0.5} \leq 1.70$ (σ_{v0}' kN/m² cinsindendir)
 $\sigma_{v0}' = \sigma_{v0} - u$

- **TBDY Tablo 16B.1:**

Tij uzunluğu ve C_R arasındaki ilişkiyi vermektedir

Tij uzunluğu $\cong$ derinlik + 1.0 m

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
C_R	3m ile 4m aralığında	0.75
	4m ile 6m aralığında	0.85
	6m ile 10m aralığında	0.95
	10m'den derin	1.00

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi (SPT)

Derinlik(m)	N	PI	USCS	IDI	C _N	C _R	σ_v (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)
1.50	13	NP	SM	17	1.700	0.75	25.5	25.5
3.00	16	NP	SW	5	1.494	0.85	54.6	42.8
4.50	39	NP	SM	16	1.283	0.85	84.6	58.1
6.00	20	NP	SM	16	1.141	0.95	114.6	73.4
7.50	20	NP	SW-SM	12	1.038	0.95	144.6	88.7
9.00	18	NP	SW-SM	22	0.959	1.00	174.6	104.0
10.50	16	NP	SP-SM	32	0.895	1.00	204.6	119.3
12.00	20	16	ML	89	0.843	1.00	234.6	134.6
13.50	21	13	ML	84	0.799	1.00	264.6	149.9
15.00	33	NP	SW-SM	10	0.761	1.00	294.6	165.2
16.50	31	NP	SM	15	0.728	1.00	324.6	180.5
18.00	41	NP	SW-SM	8	0.699	1.00	354.6	195.8
19.50	36	NP	SW-SM	8	0.673	1.00	384.6	211.1
21.00	39	NP	SM	38				
22.50	30	NP	SM	34				
24.00	32	NP	SM	33				
25.50	R				YASS=1.80 m olarak verilmiştir			

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi

SPT düzeltmesi için örnek:

Düşey gerilme hesapları için, tüm kumlu katmanlarda aşağıdaki yaklaşık birim ağırlıkların kullanılması uygun görülmüştür :

$$\begin{aligned}\gamma &= 17 \text{ kN/m}^3 && : \text{YASS üzerinde doğal birim ağırlık)} \\ \gamma_d &= 20 \text{ kN/m}^3 && : \text{YASS altında doğal birim ağırlık)}\end{aligned}$$

6.00 m derinlikte gerçekleştirilen deneyde $N=20$ olarak belirlenmiştir. Bu derinlikte

$$\sigma_{vo} = 17 \cdot 1.80 + 20 \cdot (6.00 - 1.80) = 114.6 \text{ kN/m}^2$$

$$u = 9.8 \cdot (6.00 - 1.80) = 41.2 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{vo}' = 114.6 - 41.2 = 73.4 \text{ kN/m}^2$$

$$C_N = 9.78 / (73.4)^{0.5} = 1.141$$

$$C_R = 0.95 \quad (6.00+1.00=7.00 \text{ m tij uzunluğu için, **TBDY Tablo 16B.1**)}\quad$$

$$N_{1,60} = N \cdot C_N \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E = 20 \cdot 1.141 \cdot 0.95 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.00 = \underline{21.7} \quad (\textbf{TBDY Denklem 16B.1})$$

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi

Sıvılaşma direncinin hesaplanması için örnek

- İnce dane miktarının zeminin sıvılaşma direncine yansıtılması **TBDY Denklem 16B.3** ile yapılmaktadır:

- 6.00 m derinlikte kazanılan numune ile laboratuvarda $ID=16$ olarak belirlenmiştir:

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/16^2)] = 2.739$$

$$\beta = 0.99 + 16^{1.5}/1000 = 1.053$$

- $N_{1,60} = N_{1,60f} = \alpha + \beta \cdot N_{1,60} = 2.739 + 1.053 \cdot 21.7 = 25.6$

Çevrimsel dayanım oranı **TBDY Denklem 16B.4b** ile hesaplanır:

6.00 m derinlikteki çevrimsel dayanım oranı:

$$CRR_{M7.5} = 1 / (34 - 25.6) + 25.6 / 135 + 50 / (10 \cdot 25.6 + 45)^2 - 1 / 200 = 0.304$$

- $M_w=7.5$ alınması sebebi** ile deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı (**TBDY Denklem 16B.4c**), $C_M=1.00$ olarak bulunur. Bu değerler **TBDY Denklem 16B.4b** ile *sıvılaşma direncinin* belirlenmesinde kullanılır. 6.00 m derinlikteki numune için:

$$\tau_R = CRR_{M7.5} \cdot C_M \cdot \sigma_{vo}' = 0.304 \cdot 1.0 \cdot 73.4 = \underline{22.3 \text{ kN/m}^2}$$

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi

Depremde oluşan gerilmesinin hesabı için örnek

- 6.00 m derinlik için hesaplanan kayma gerilmesi:

$$\tau_{\text{deprem}} = 0.65 \cdot \sigma_{\text{vo}} \cdot (0.4 S_{DS}) \cdot r_d = 0.65 \cdot 114.6 \cdot (0.4 \cdot 0.750) \cdot 0.954 = 21.3 \text{ kN/m}^2$$

- r_d derinliğe (z) bağlı azaltma katsayısıdır ve **TBDY Denklem 16B.4.2** ile hesaplanır:

$$r_d = 1.0 - 0.00765z \quad z \leq 9.15\text{m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad 1.174\text{m} < z \leq 0.0267 \text{ m}$$

*Sıvılaşmaya göre güvenlik faktörü **TBDY Denklem 16.3** ($\tau_R / \tau_{\text{deprem}} \geq 1.10$) yardımıyla hesaplanır.*

6.00 m derinlik için:

$22.3 / 21.3 = \underline{1.05}$ olması nedeniyle, bu derinlikte sıvılaşma tehlikesinin bulunduğu gösterilmiştir. Diğer derinlikler için sonuçlar bir hesap tablosunda gösterilmektedir.

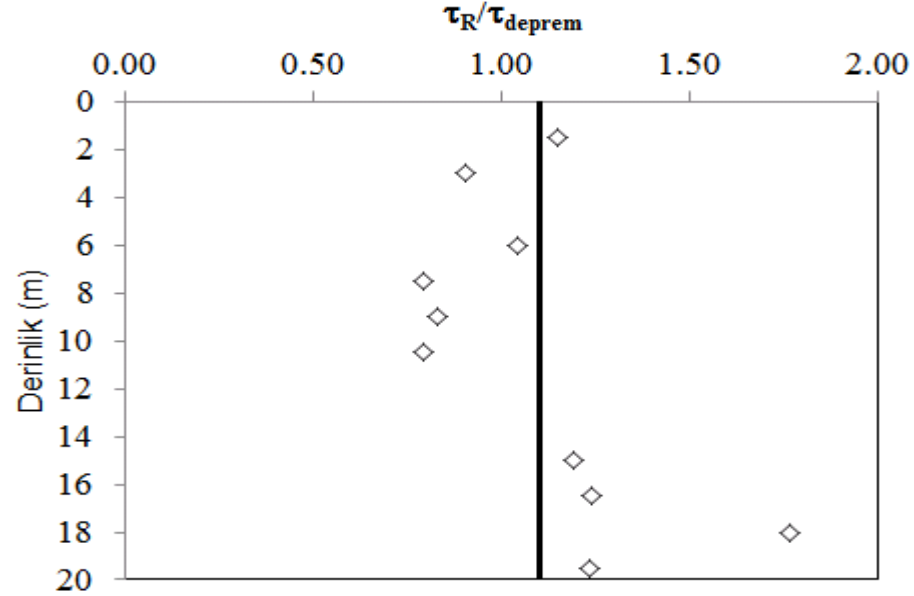
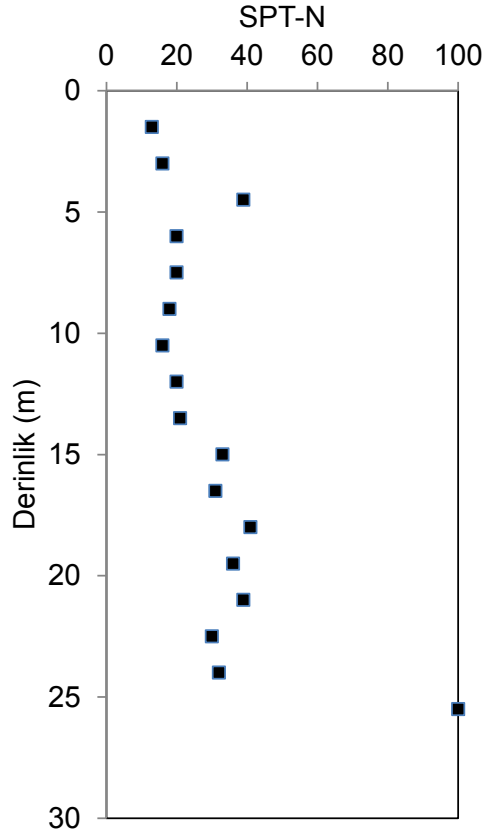
Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi

Derinlik (m)	N	N _{1,60}	N _{1,60f}	C _M	τ_R (kN/m ²)	τ_{deprem} (kN/m ²)	τ_R/τ_{deprem}
1.50	13	16.6	20.5	1	5.6	4.9	1.15
3.00	16	20.3	20.3	1	9.4	10.4	0.90
4.50	39	42.5	47.6	x	x	x	x
6.00	20	21.7	25.6	1	22.3	21.3	1.05
7.50	20	19.7	21.7	1	21.1	26.6	0.79
9.00	18	17.3	22.8	1	26.4	31.7	0.83
10.50	16	14.3	21.6	1	28.2	35.7	0.79
12.00	x	x	x	x	x	x	x
13.50	x	x	x	x	x	x	x
15.00	33	25.1	26.3	1	53.0	44.4	1.19
16.50	31	22.6	26.2	1	57.5	46.4	1.24
18.00	41	28.7	29.5	1	84.8	47.9	1.77
19.50	36	24.2	24.7	1	60.5	49.0	1.24

Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi

- **TBDY 16.6.2**, sıvılaşma analizi için zeminlerde $PI < \%12$ olması ve *yüzeyden 20 m derinlik içerisinde yer almaları* sınırını getirmektedir. Bu sebeple, analizler 20 m derinlik ile sınırlandırılmış ve $PI = \%16$ olan 12.00 m derinlikde ML katman ve $PI = \%13$ olan 13.50 m derinlikteki ML katman için sıvılaşma tehlikesi öngörülmemiştir.
- Sıvılaşma potansiyeli olan katmanların derinliklerini ve toplam kalınlıklarını göstermek amacıyla sonuçlar grafiksel olarak da sunulmuştur.

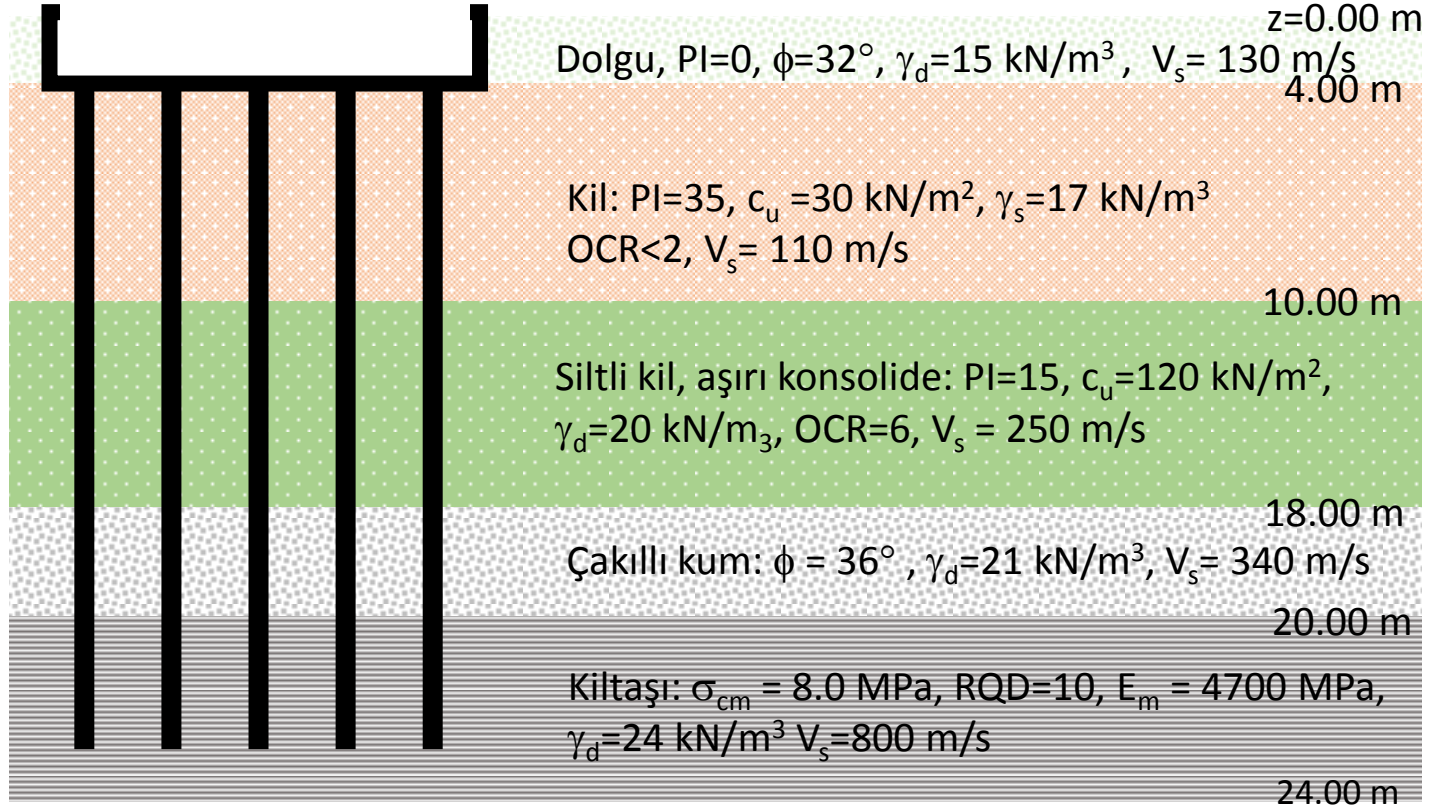
Basitleştirilmiş Zemin Sıvılaşma Değerlendirmesi



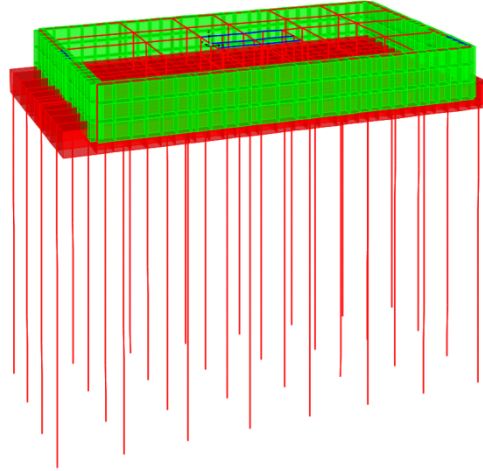
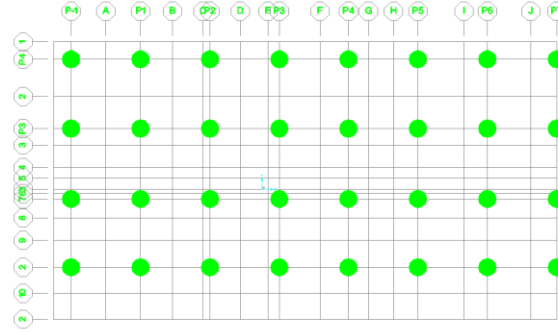
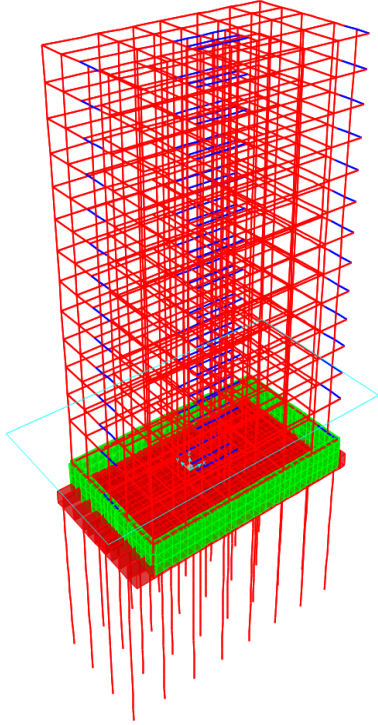
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

ÖRNEK 5

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



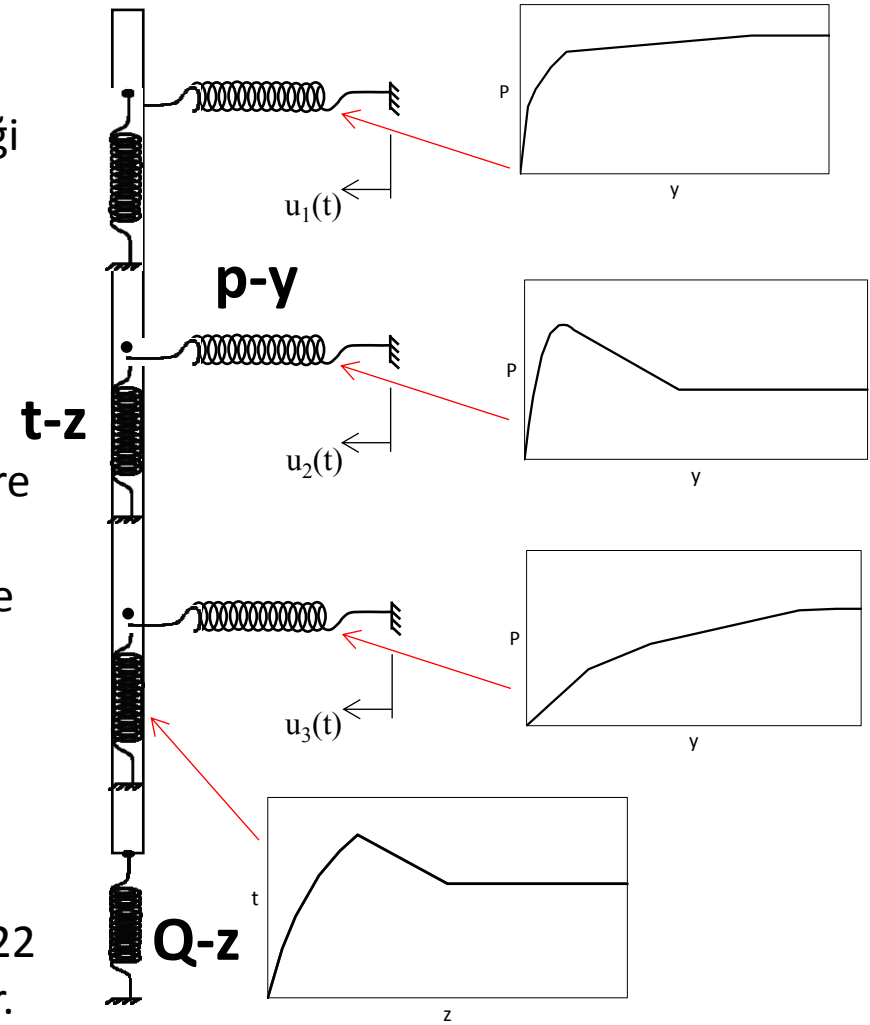
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



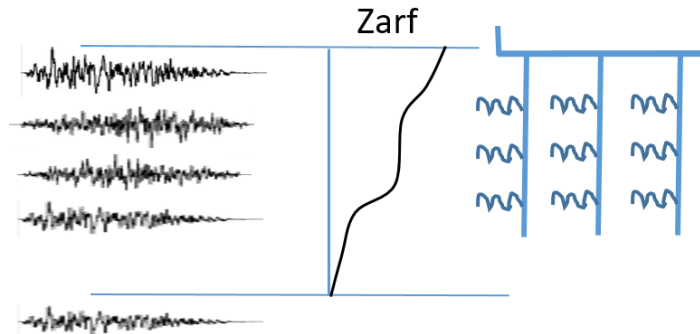
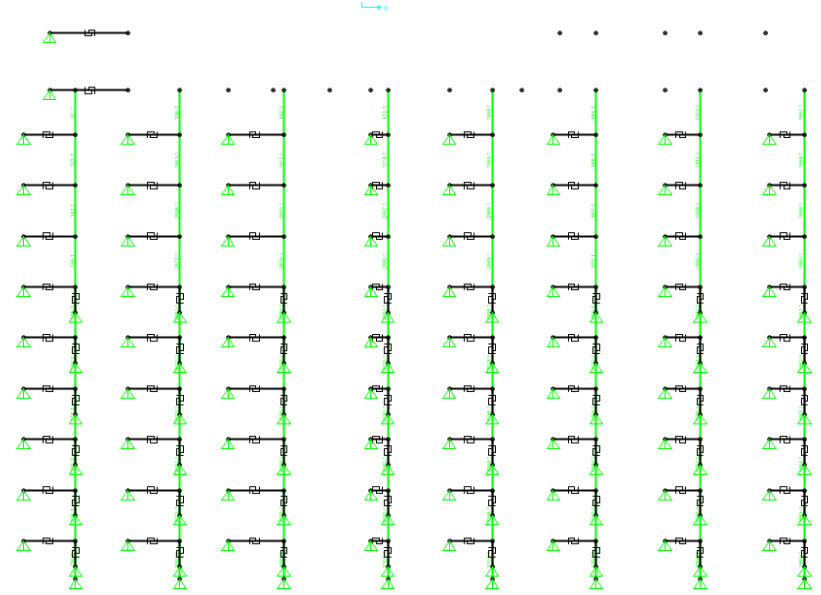
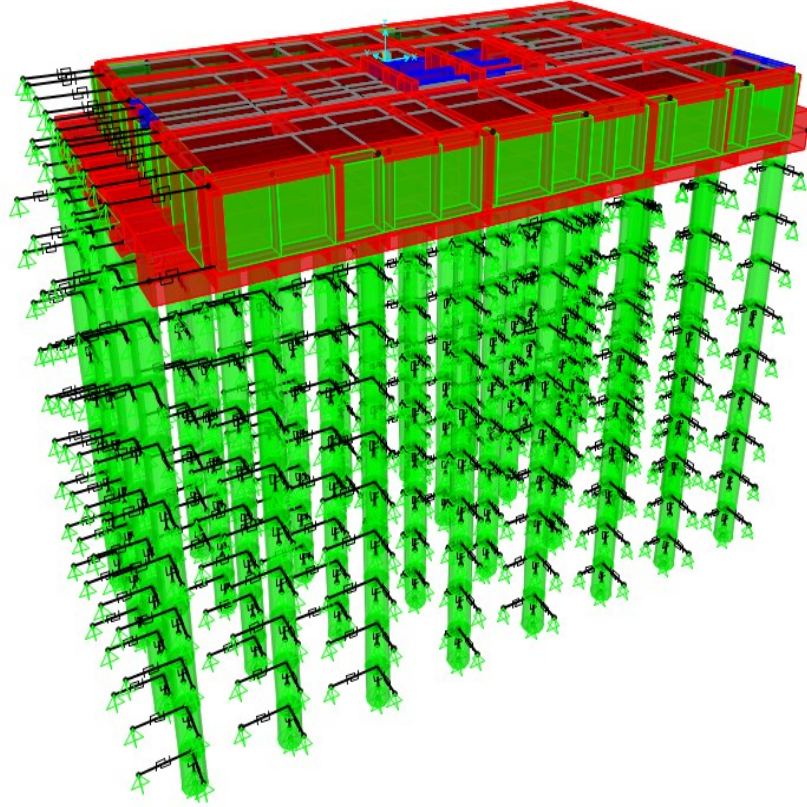
- 13 Kat, 41 m yükseklik
- DTS=1, BYS = 4
- Radye altında (4-34 m, hesapla)
 $(V_s)_{30} = 273 \text{ m/s}$
DD-2, ZD için,
 $S_{DS}=1.396$; $S_{D1}=0.717$
- Kazıkların soketlendiği kaya için
 $(V_s)_{30} = V_s = 800 \text{ m/s}$
 $S_{DS}=1.256$; $S_{D1}=0.298$
- Fore kazık, C20 beton, BÇ-III çelik
- 1.00 m kazık çapı, 4.00m aks aralığı
- Kumtaşı içerisinde soketlenme uzunluğu 4.00 m.
- Kuyu dipleri iyi temizlenecektir ($Q_p > 0$)

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

- **TBDY Kısım 16.10.1.3** ve Tablo 16.5’de belirtildiği üzere ($DTS = 1$, $BYS = 4$), kazık-zemin etkileşimi Yöntem III ile ele alınabilir.
- Modellemede kullanılacak p-y ve t-z yayları için doğrusal ve doğrusal olmayan özellikler gerekmektedir.
- Bu özellikler kazık boyunca zemin katmanına göre her katmanda değişik olarak elde edilmiş ve derinlik boyunca değişen kazık özellikleri modele yansıtılmıştır. Yatay yönlerde zemin direncini modelleyen p-y yayları ve düşey yönde zemin direncini modelleyen t-z yayları, düşeyde 2 m aralıkla yerleştirilen düğüm noktalarına bağlanmıştır
- Düşey yönde kazık rijitliğini belirleyen Q-z yayı, 22 m derinliğinde yer alan kazık ucuna bağlanmıştır.



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

- **TBDY Madde 16.9.3** doğrultusunda kazıkların düşey taşıma gücü tetkik edilmeli ve **TBDY Denklem 16.14** doğrultusunda her kazığı etkileyen *düşey tasarım kuvvetinin* (P_{tv}) *kazığın düşey tasarım dayanımını* (Q_{tv}) aşmadığı gösterilmelidir.

Derinlik (m)	Çevre (şaft) Direnci	Uç Direnci
4.00 -10.00	$f_n = -24.3 \text{ kPa}$	
10.00 - 18.00	$f_s = 51.0 \text{ kPa}$	
18.00 - 20.00	$f_s = 43.0 \text{ kPa}$	
20.00 - 22.00	$f_s = 780 \text{ kPa}$	$f_u = 24.0 \text{ MPa}$

f_n : negatif sürtünme, f_s : şaft direnci, f_u : uç direnci

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

- Kazığın karakteristik çevre sürtünmesi ve uç direnci (negatif sürtünme ihtimali sebebi ile 4-10 m seviyeleri dâhil edilmemiştir):

$$Q_{ks} = \pi \cdot b \cdot \Sigma(f_s \cdot L) = \pi \cdot 1.00 \cdot (51 \cdot 8 + 43 \cdot 2 + 780 \cdot 2) = 6452 \text{ kN}$$

$$Q_{ku} = \pi \cdot b^2 \cdot f_p / 4 = \pi \cdot 1.00^2 \cdot 24000 / 4 = 18849 \text{ kN}$$

- Toplam negatif sürtünme:

$$Q_n = \pi \cdot b \cdot \Sigma(f_n \cdot L) = \pi \cdot 1.00 \cdot 24.3 \cdot 6 = 458 \text{ kN}$$

- Kazığın düşey tasarım dayanımı (**TBDY Denklem 16.15a**):

$$Q_{tv} = Q_{ks} / \gamma_{RS} + Q_{ku} / \gamma_{Ru} - Q_n = 18849 / 2.0 + 6452 / 1.5 - 458 = 13267 \text{ kN} = \underline{13.2 \text{ MN}}$$

- Kaya soketinde şafta aktarılan tasarım sınır yükü (4900 kN / 1.5) altında oturma tahmini $z_s = 0.63 \text{ mm}$,
- Kaya soketinde uca aktarılan tasarım sınır yükü (18800 kN / 2.0) altında oturma tahmini $z_u = 2.15 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır.

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

- **TBDY Ek 16C.6.2** yatay yönde zemin-yapı etkileşimi kuvvetlerini modelleyen doğrusal olmayan p-y (birim yatay yük – yatay deplasman) yayları için yararlanılabilecek kaynakçaları vermektedir. Bu denklemlerin en güncel halleri ve uygulama örnekleri Reese ve Van Impe (2011) tarafından verilmiştir.
- Aşağıda, doygun kil, kum ve kaya birimler için uygun görülmüş formüller özetlenmekte ve uygulanmaktadır. Kazık shaftı üzerinde düşey yönde zemin - yapı etkileşimi kuvvetlerini modelleyen t-z ilişkisi (birim düşey yük – düşey deplasman), ve gene kazık ucunda düşey yönde etkileşim kuvvetlerini modelleyen Q-z ilişkisi **TBDY Ek 16C.6.2**'de kaynakça olarak belirtilen API WSD RP-2A (2000) dokümanı yardımıyla belirlenmiştir.
- Hesaplanan p ve t değerlerinin ΔL ile çapılarak her bir yaya tesir eden toplam yük bulunmalıdır

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Yumuşak kil için p-y:

$$p_{ult} = [3 + (\gamma'/c_u) \cdot d + (j/b) \cdot d] \cdot c_u \cdot b \leq 9 \cdot c_u \cdot b$$

$$\gamma_{50} = 2.5 \cdot \varepsilon^{50} \cdot b$$

$$d_R = 6 \cdot c_u / [\gamma' + j \cdot c_u / b]$$

$$p/p_{ult} = 0.5 \cdot (\gamma / \gamma_{50})^{1/3}$$

$$p/p_{ult} = 0.06 \cdot (d / d_R - 1) \cdot (\gamma / \gamma_{50} - 3) + 0.72$$

$$p/p_{ult} = 0.72 \cdot (d / d_R)$$

c_u : drenajsız kesme dayanımı

j : yumuşak kil = 0.5, orta katı kil = 0.25

b : kazık çapı

d : derinlik

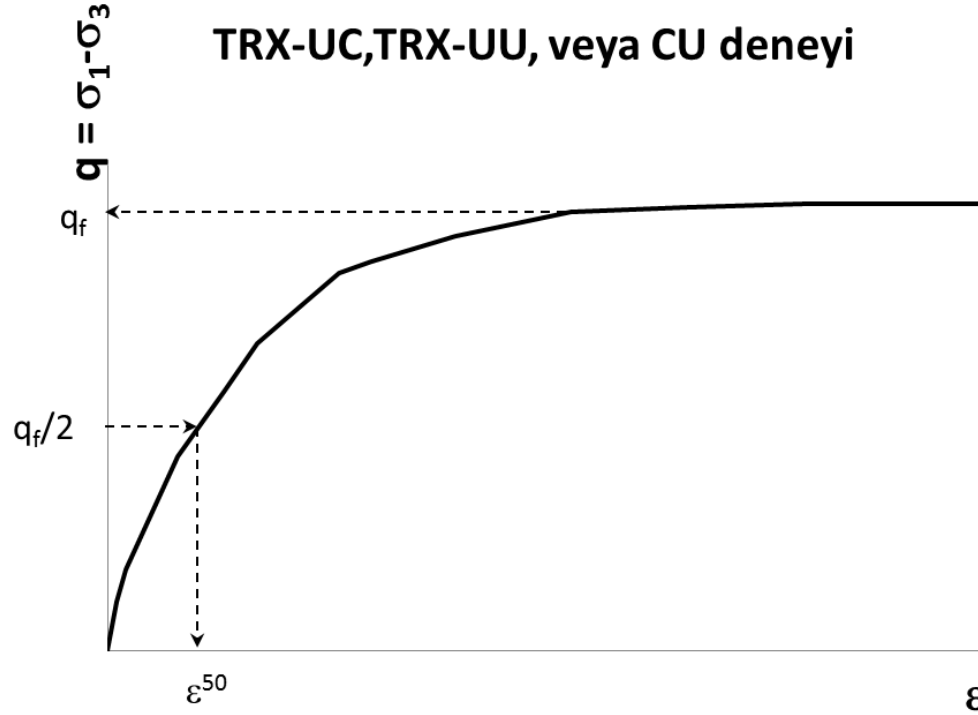
$$\gamma / \gamma_{50} \leq 3$$

$$3 < \gamma / \gamma_{50} < 15$$

$$\gamma / \gamma_{50} \geq 15$$

Katılık Derecesi	c_u (kN/m ²)	ε^{50}
Yumuşak	<48	0.020
Orta	48-96	0.010
Sert	96-112	0.005

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Katı-Sert kil için p-y:

$$p_c = 2 \cdot c_a \cdot b + \gamma' \cdot b \cdot d + 2.83 \cdot c_a \cdot d \leq 11 \cdot c_u \cdot b$$

$$p = A_c \cdot p_c \cdot [1 - ((y - 0.45y_p)/(0.45y_p))^{2.5}] \leq (k_{pyc} \cdot d) \cdot y \quad : y < 0.6 \cdot y_p$$

$$y_{50} = \varepsilon_{50} \cdot b$$

$$y_p = 4.1 \cdot A_c \cdot y_{50}$$

$$p = 0.936 \cdot A_c \cdot p_c - 0.085 \cdot p_c \cdot (y - 0.6 y_p) / y_{50} \quad : 0.6 y_p < y \leq 1.8 y_p$$

$$p = 0.518 A_c \cdot p_c \quad : 1.8 y_p < y$$

c_a : ortalama c_u değeri

A_c : derinliğe bağlı bir katsayı olarak verilse de, genel olarak $A_c \cong 0.3$ alınabilir

b : kazık çapı

d : derinlik

c_u (kPa)	ε_{50}	k_{pyc} (MN/m ³)
50-100	0.007	55
100-200	0.005	110
200-400	0.004	540

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Kum için p-y:

$$\alpha = \phi/2 \quad ; \quad \beta = 45^\circ + \phi/2 \quad ; \quad K_o = 0.4 \quad ; \quad K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

$$p_s = \gamma' \cdot d \cdot [f_1 + f_2 + f_3] \leq K_a \cdot b \cdot \gamma' \cdot d \cdot (\tan^8 \beta - 1) + K_o \cdot b \cdot \gamma' \cdot d \cdot \tan \phi \cdot \tan^4 \beta$$

$$f_1 = (K_o \cdot d \cdot \tan \phi \cdot \sin \beta) / (\tan(\beta - \phi) \cdot \cos \alpha)$$

$$f_2 = \tan \beta \cdot (b + d \cdot \tan \beta \cdot \cos \alpha) / \tan(\beta - \phi)$$

$$f_3 = K_o \cdot d \cdot \tan \beta \cdot (\tan \phi \cdot \sin \beta - \tan \alpha) - K_a \cdot b$$

$$P_{ult} = A_c \cdot p_s$$

$$y_u = 3b/80$$

$$y_m = b/60$$

$$p_m = B_c \cdot p_s$$

ϕ' : kayma direnci açısı

K_a : aktif basınç katsayısı

K_o : tabii basınç katsayısı

b : kazık çapı

d : derinlik

Burada A_c ve B_c normalize derinliğin (d/b) 'nin bir fonksiyonudur (Reese ve Van Impe, 2011).

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Kum için p-y:

$$m = (p_{ult} - p_m) / (y_u - y_m)$$

$$n = p_m / (m \cdot y_m)$$

$$\hat{c} = p_m / (y_m)^{1/n}$$

$$y_k = (\hat{c} / (k_{py} \cdot d))^{n/(n-1)}$$

$$p = \hat{c} \cdot y^{1/n} < k_{py} \cdot d \cdot y \quad y \leq y_m$$

$$p = p_m + m \cdot (y - y_m) \leq p_{ult} \quad y > y_m$$

k_{py}	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
Doygun	5.4	16.3	34
Nemli	6.8	24.4	61

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Zayıf Kaya için p-y:

$$p_{ur} = \alpha_r \cdot q_{ur} \cdot b \cdot (1 + 1.4 \cdot d_r / b) \leq 5.2 \cdot \alpha_r \cdot q_{ur} \cdot b$$

$$\alpha_r = 1/3 + 2/3 \cdot (1 - RQD / 100)$$

$$K_{ir} = k_{ir} \cdot E_{ir}$$

$$k_{ir} = 100 + 400 \cdot d_r / (3 \cdot b) \leq 500$$

$$p = p_{ur} \leq (p_{ur} / 2) \cdot (y / y_{rm})^{0.25} \leq K_{ir} \cdot y \quad y \leq y_m$$

$$y_{rm} = k_{rm} \cdot b \quad y > y_m$$

q_{ur} : kayanın basınç dayanımı

α_r : kaya çatlakları için azaltma faktörü

b : kazık çapı

d : derinlik

E_{ir} : düşük birim uzamalar altında elastik modülü

k_{rm} : kaya tipine bağlı olarak 0.0005 – 0.00005 arasında (0.0002)

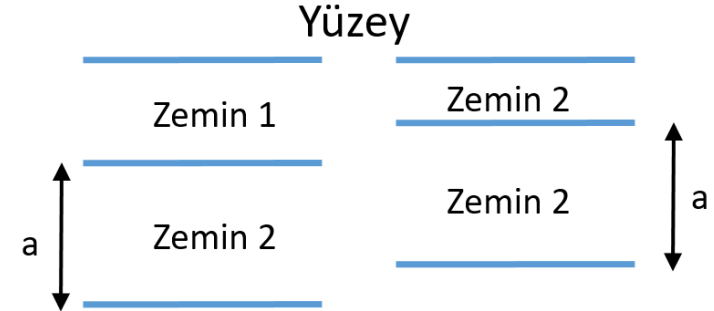
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

p-y Eğrileri: Farklı Katmanlar için Eşdeğer Derinlik (Georgiadis, 1983):

- p-y eğrilerinin tanımında, zemin özelliğinin tüm seviyelerde aynı olduğu kabulü vardır. Farklı katmanların mevcut olması durumunda, eşdeğer derinlik hesabı ile p-y eğrileri kullanılabilir:

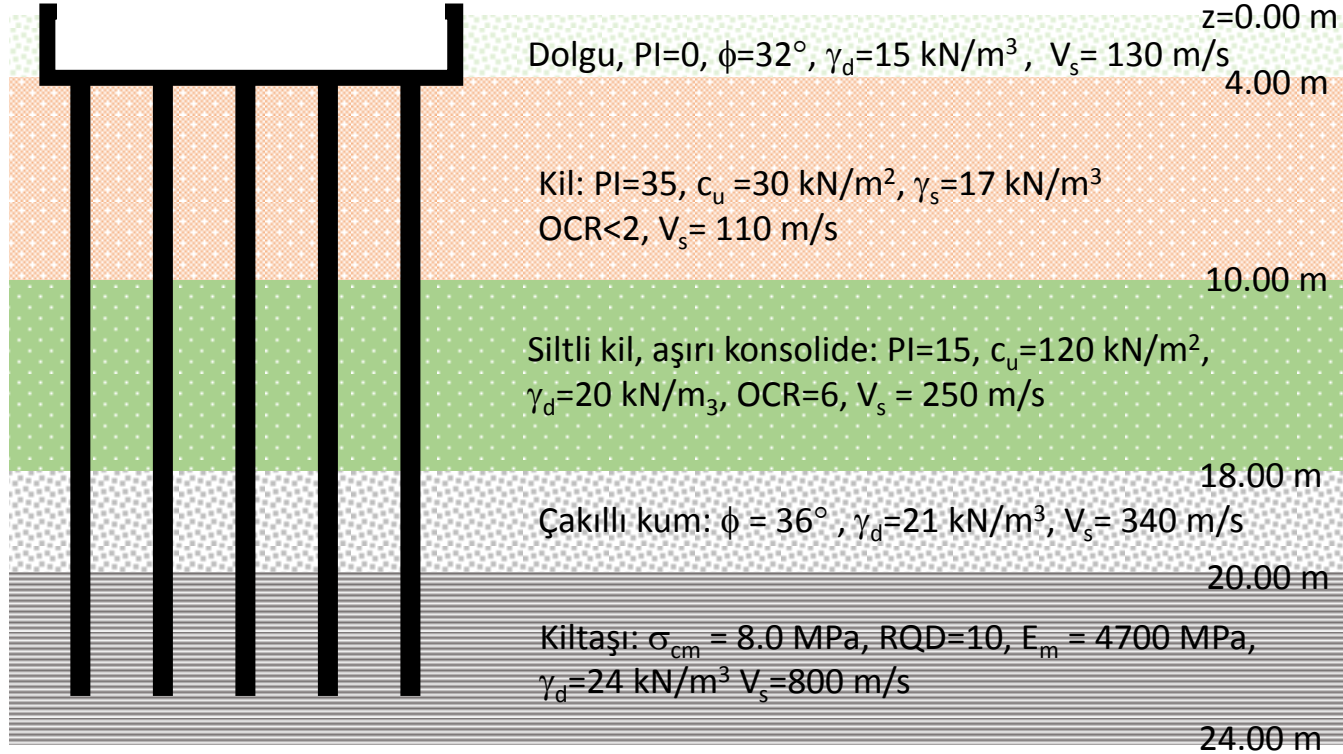
$$I_{\ddot{u}} = \int_0^{H_{\ddot{u}}} (P_{ult})_{\ddot{u}} \cdot dd$$

$$I_a = \int_0^{H_a} (P_{ult})_a \cdot dd$$



- $I_{\ddot{u}} = I_a$ eşitliğini sağlayan H_a bulunduktan sonra bu katmanın hesap derinlikleri aşağıdaki gibi hesaplanır:
 $d = d_s - d_o + H_a$
 d_s zeminin sahadaki gerçek derinliği, d_o ise alt katmanın üst sınırının gerçek derinliğidir.
- Takip eden alt katmanların H_a değerleri aynı prensiple hesaplanır.

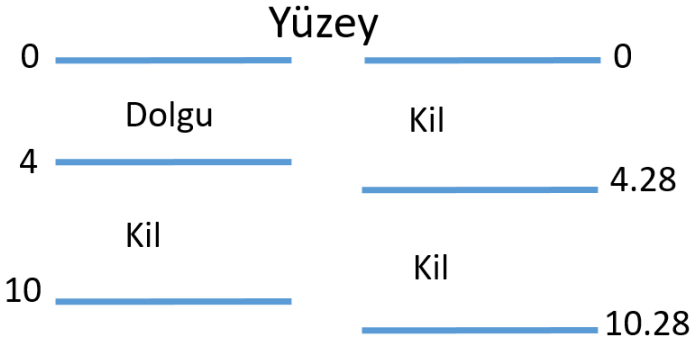
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

d(m)	P _{ult} (kN/m)	M	M·P _{ult}		d(m)	P _{ult} (kN/m)	M	M·P _{ult}
0.0	0.0	1	0.0		0.00	90.0	1	90.0
0.5	27.2	4	108.7		0.54	102.3	4	409.3
1.0	68.7	2	137.4		1.07	131.8	2	263.7
1.5	124.5	4	498.1		1.61	178.5	4	714.1
2.0	194.7	2	389.4		2.14	242.4	2	484.7
2.5	279.2	4	1116.9		2.68	270.0	4	1080.0
3.0	378.1	2	756.2		3.21	270.0	2	540.0
3.5	432.3	4	1729.3		3.75	270.0	4	1080.0
4.0	544.6	1	544.6		4.28	270.0	1	270.1
Toplam (I _ü) =			880		Toplam (I _ü) =			880

M: Simpson integrasyon katsayısı



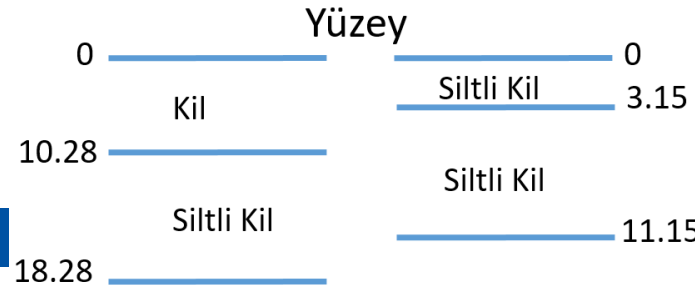
Kil katmanının başlangıç ve bitiş derinlikleri sırasıyla 4.28 m ve 10.28 m olduğu kabulü yapılarak her hesap noktasında p-y eğrisi oluşturulacaktır.

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

d(m)	P _{ult} (kN/m)	M	M·P _{ult}		d(m)	P _{ult} (kN/m)	M	M·P _{ult}
0.00	90.0	1	90.0		0.00	240.0	1	240.0
1.29	148.5	4	594.1		0.39	377.7	4	1510.6
2.57	270.0	2	540.0		0.79	515.3	2	1030.6
3.86	270.0	4	1080.0		1.18	653.0	4	2611.9
5.14	270.0	2	540.0		1.58	790.6	2	1581.2
6.43	270.0	4	1080.0		1.97	928.3	4	3713.1
7.71	270.0	2	540.0		2.36	1065.9	2	2131.9
9.00	270.0	4	1080.0		2.76	1203.6	4	4814.3
10.28	270.0	1	270.0		3.15	1320.0	1	1320.0
Toplam (I _ü) =			2490		Toplam (I _a) =			2488

Siltli kil (OCR=6) kil katmanının başlangıç ve bitiş derinlikleri sırasıyla 3.15. ve 11.15 m olduğu kabulü yapılarak her hesap noktasında p-y eğrisi oluşturulacaktır.

M: Simpson integrasyon katsayısı



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

p-y Eğrileri: Grup Etkisi

- **TBDY Ek 16C.3.2.1b** ile açıklandığı şekilde kazık aralıklarına bağlı olarak p değerlerine azaltma uygulanmasıdır.
- Bu azaltma faktörü hareketin yönüne bağlı olarak her kazık sırasına ayrı ayrı uygulanır.
- Grup etkisine göre azaltma, hareket yönüne göre arka sıralarda olan kazıklarda daha belirgindir.
- Simetrik olmayan temel planlarında düşey aks çevresinde oluşabilecek dönmenin etkisi ihmal edilmektedir.

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

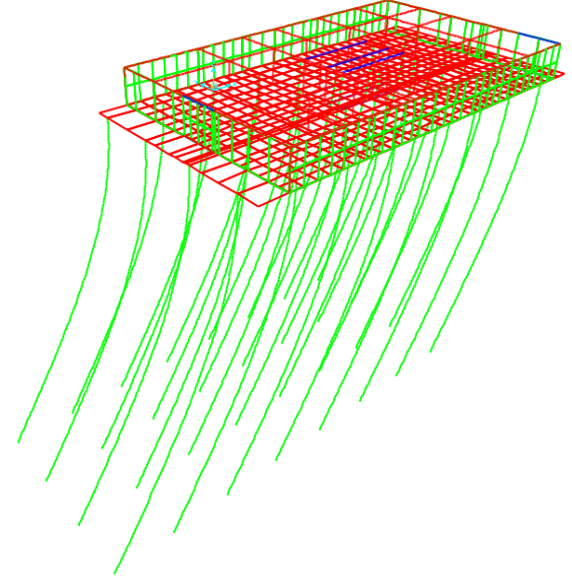
p-y Eğrileri: Grup Etkisi

- **TBDY 16C3.2.1b** doğrultusunda, kazıkların 4.00 m aralıklı olması sebebi ile, hesapta $s = 4$ alınmalıdır. Bu durumda,

$$\beta_G = 0.2 \cdot [(1 - \beta_{G1}) \cdot s - (1 - 6 \cdot \beta_{G1})]$$

- Göz önüne alınan yatay hareket yönünde, zemin ve kazıklar arasında en yüksek basınç oluşan cephe ön sayılarak, Birinci kazık sırası belirlenir. Kullanılacak p-y eğrilerinde, yük (p) değeri β_G değerleri ile çarpılacaktır.

Sıra No.	β_{G1}	β_G
1	0.70	0.88
2	0.45	0.78
3	0.30	0.72
4-8	0.20	0.68



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Yumuşak kil ($OCR < 2$) için örnek p - y eğrisi hesabı:

$$\gamma' = \gamma_d - \gamma_s = 17 - 9.8 \cong 7 \text{ kN/m}^3$$

$$d = 5.00 \text{ m} + 0.28 \text{ m} = 5.28 \text{ m} \quad (5.00 \text{ m derinlikte yer alan nokta için hesap derinliği})$$

$$\varepsilon^{50} = 0.020 \quad \gamma_{50} = 2.5 \cdot 0.020 \cdot 1.00 = 0.05 \text{ m} \quad j \cong 0.5$$

$$p_{ult} = [3 + (7 / 30) \cdot 5.28 + (0.5 / 1.00) \cdot 5.28] \cdot 30 \cdot 1.00 = 206.2 \text{ kN/m} \\ (\leq 9 \cdot 30 \cdot 1.00 \sqrt{})$$

$$d_R = 6 \cdot 30 / [7 + 0.50 \cdot 30 / 1.00] = 8.181 \text{ m}$$

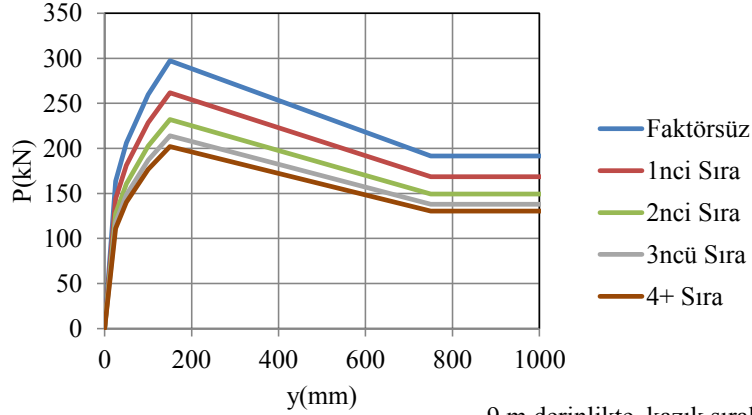
$$p = p_{ult} \cdot 0.5 \cdot (y / 50 \text{ mm})^{1/3} \quad y \leq 150 \text{ mm}$$

$$p = p_{ult} \cdot [0.72 - 0.0213 \cdot (y / 50 \text{ mm} - 3)] \quad 150 \text{ mm} < y < 750 \text{ mm}$$

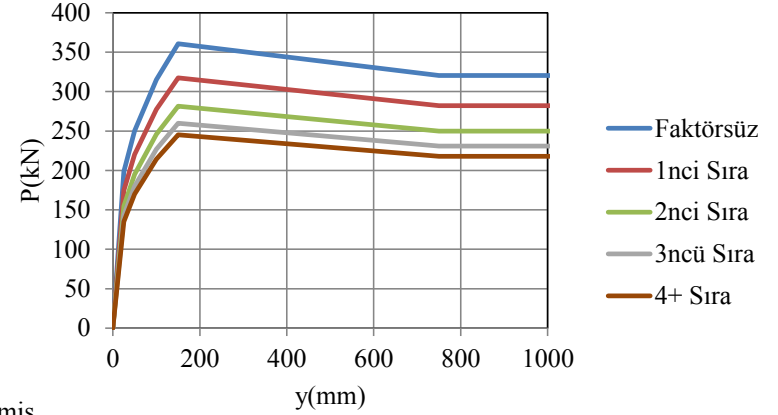
$$p = p_{ult} \cdot 0.4647 \quad y \geq 750 \text{ mm}$$

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

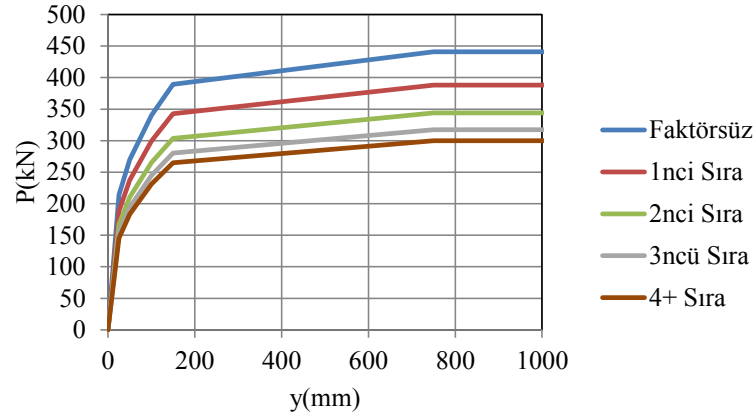
5 m derinlikte, kazık sıralarına göre faktörlendirilmiş



7 m derinlikte, kazık sıralarına göre faktörlendirilmiş



9 m derinlikte, kazık sıralarına göre faktörlendirilmiş



*Yumuşak kil
(OCR<2) için p-y
eğrileri*

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Katı-Sert kil (OCR=6) için p-y:

$$c_u = 120 \text{ kN/m}^2, \gamma' = \gamma_d - \gamma_s = 20 - 9.8 \cong 10 \text{ kN/m}^3$$

$$d = 11.00 \text{ m} - 6.85 \text{ m} = 4.15 \text{ m} \quad (11.00 \text{ m derinlikte yer alan nokta için hesap derinliği})$$

$$A_c \cong 0.3 \quad ; \quad k_{pyc} = 110,000 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{50} = 0.005 \cdot 1.00 = 0.005 \text{ m} = 5 \text{ mm}$$

$$\gamma_p = 4.1 \cdot 0.3 \cdot 5 = 6.15 \text{ mm} ;$$

$$p_c = 2 \cdot 120 \cdot 1.00 + 10 \cdot 1.00 \cdot 4.15 + 2.83 \cdot 120 \cdot 4.15 = 1691 \text{ kN/m} > 11 \cdot 120 \cdot 1.00$$

$$\rightarrow p_c = 1330 \text{ kN}$$

$$p = 0.3 \cdot 1330 \cdot [1 - ((y - 0.45 \cdot 6.15) / (0.45 \cdot 6.15))^{2.5}] \leq (110000 \cdot 4.15) \cdot y$$

: $y < 3.69 \text{ mm}$

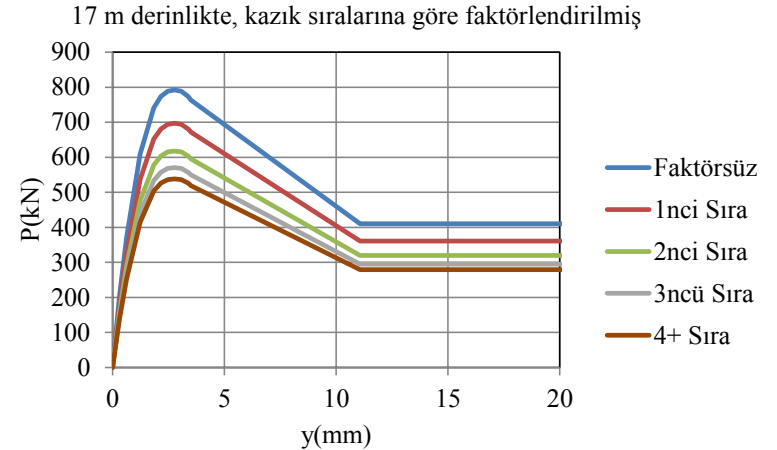
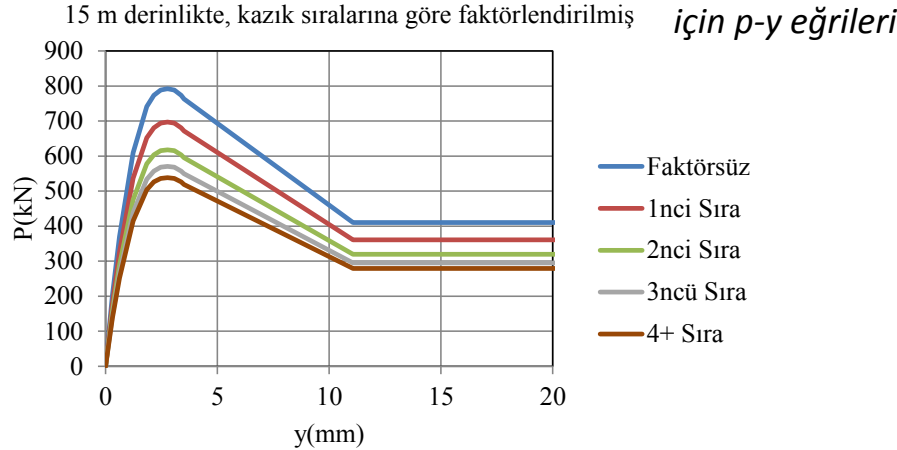
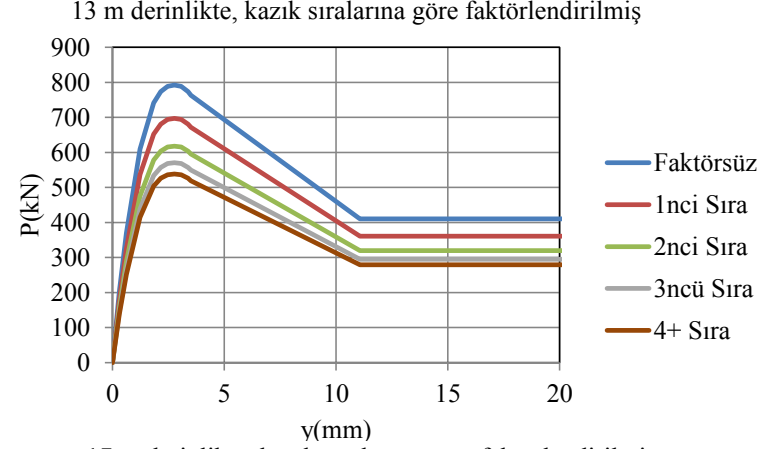
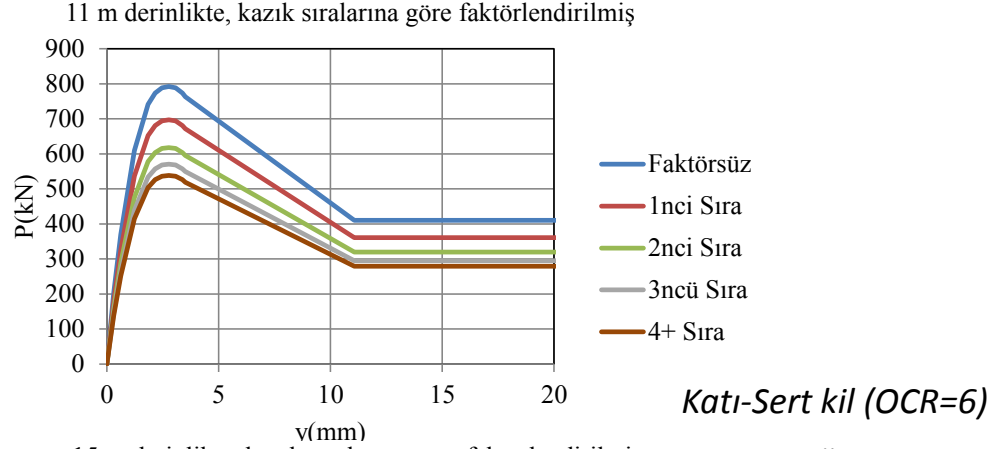
$$p = 0.936 \cdot 0.3 \cdot 1330 - 0.085 \cdot 1330 \cdot (y - 0.6 \cdot 6.15) / 5$$

: $3.69 < y \leq 11.07 \text{ mm}$

$$p = 0.518 \cdot 0.3 \cdot 1330$$

: $11.07 \text{ mm} < y$

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Çakıllı kum için p-y:

$d = 19.00 \text{ m} - 7.79 \text{ m} = 11.21 \text{ m}$ (19.00 m derinlikte yer alan nokta için hesap derinliği)

$$k_{py} = 16300 \text{ kN/m}^3$$

$$d / b = 11.21 \rightarrow A_c \cong 0.88 \quad B_c \cong 0.55$$

$$\alpha = 36/2 = 18^\circ ; \quad \beta = 45 + 36/2 = 63^\circ ; \quad K_o = 0.4$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 36/2) = 0.2596$$

$$f_1 + f_2 + f_3 \leq 0.2596 \cdot 1.00 \cdot 11 \cdot \tan 36 \cdot \tan^4 63$$

$$f_1 = (0.4 \cdot 11.21 \cdot \tan 36 \cdot \sin 63) / (\tan(63-36) \cdot \cos 18) = 5.990$$

$$f_2 = \tan 63 \cdot (1.00 + 11.21 \cdot \tan 63 \cdot \tan 18) / \tan(27) = 31.39$$

$$f_3 = 0.4 \cdot 11.21 \cdot \tan 63 \cdot (\tan 36 \cdot \sin 63 - \tan 18) - 0.2596 \cdot 1.00 = 2.578$$

$$f_1 + f_2 + f_3 = 39.96 \leq 0.2596 \cdot 1.00 \cdot 11 \cdot 11.21 \cdot (\tan^8 63 - 1) + \\ 0.4 \cdot 1.00 \cdot 11 \cdot 11.21 \cdot \tan 36 \cdot \tan^4 63$$

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Çakıllı kum için p-y (devam):

$$p_s = 11 \cdot 11.21 \cdot 39.96 = 4927 \text{ kN/m}$$

$$P_{ult} = 0.88 \cdot 4927 = 4335 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$y_u = 3 \cdot 1.00 / 80 = 0.0375 \text{ m} ;$$

$$y_m = 1.00 / 60 = 0.0167 \text{ m} ; p_m = 0.55 \cdot 4927 = 2709 \text{ kN/m}$$

$$m = (4335 - 2709) / (0.0375 - 0.0167) = 78173 \text{ kN/m}^2$$

$$n = 2709 / (78173 \cdot 0.0167) = 2.075$$

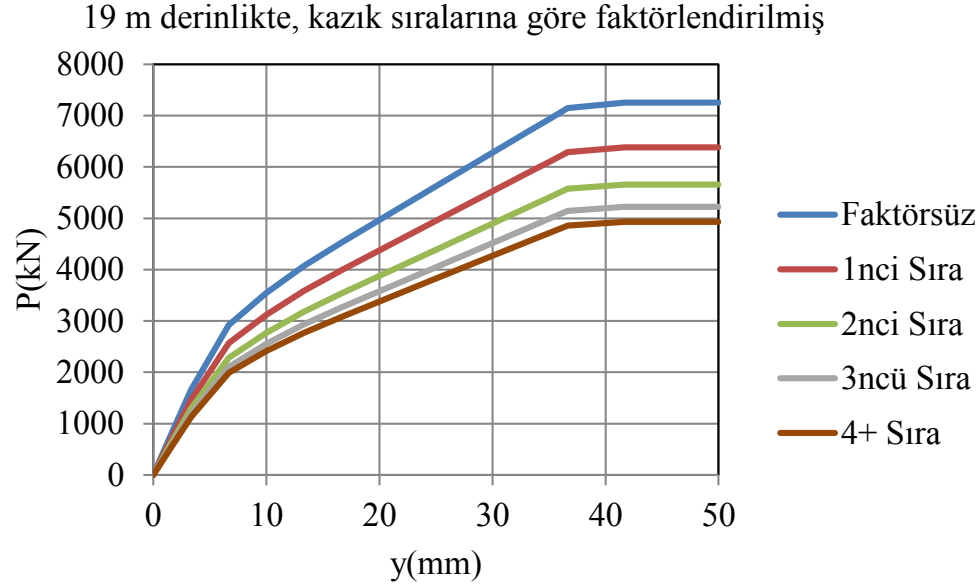
$$\hat{c} = 2709 / (0.0167)^{1/2.075} = 19468$$

$$y_k = (19468 / (16300 \cdot 11.21))^{2.075/1.075} = 0.01327$$

$$p = 19.468 \cdot y^{1/2.075} < 16.300 \cdot 11.21 \cdot y \quad (\text{kN/m}) : \quad y \text{ (mm)} \leq 16.7 \text{ mm}$$

$$p = 2709 + 78.173 \cdot (y - 16.7) \leq p_{ult} \quad (\text{kN/m}) : \quad y \text{ (mm)} > 16.7 \text{ mm}$$

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



*Çakıllı kum
için p-y eğrileri*

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Zayıf Kaya için p-y:

$$\alpha_r = 1/3 + 2/3 \cdot (1 - 10 / 100) = 0.933$$

$$p_{ur} = 0.933 \cdot 8000 \cdot 1.00 \cdot (1 + 1.4 \cdot 1.00/1.00) = 17913 \text{ kN/m}$$
$$\leq (5.2 \cdot 0.933 \cdot 8000 \cdot 1.0) \text{ kN/m}$$

$$k_{ir} = 100 + 400 \cdot 1.00 / (3 \cdot 1.00) = 233 \leq 500$$

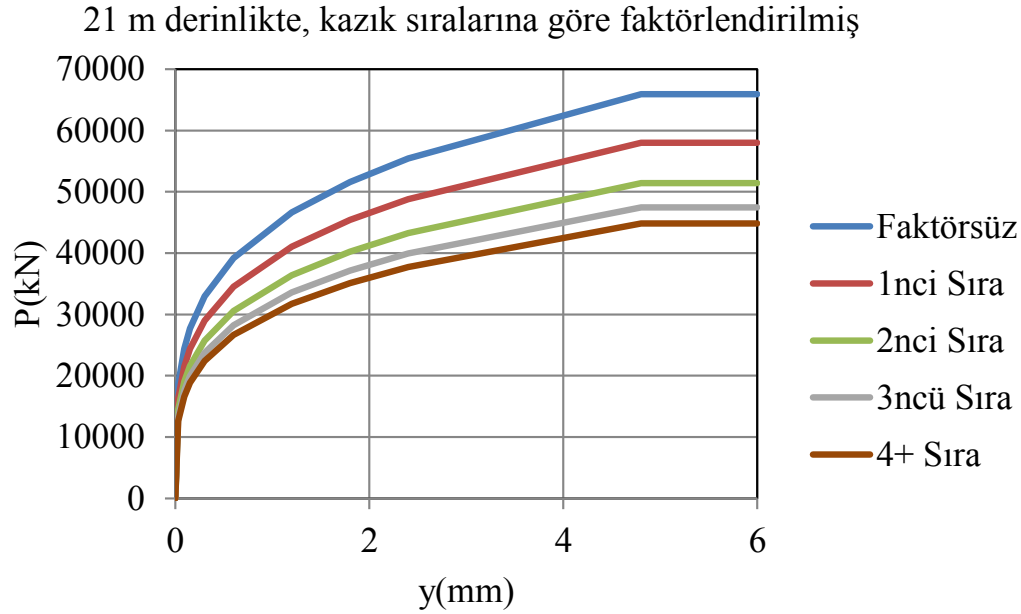
$$K_{ir} = 233 \cdot 4,700,000 = 1.095 \cdot 10^9 \text{ kN/m}^2$$

$$k_{rm} \cong 0.0002$$

$$y_{rm} = 0.0002 \cdot 1000 \text{ mm} = 0.2 \text{ mm}$$

$$p \text{ (kN/m)} = 1095000 \cdot y \leq 13392 \cdot (y)^{0.25} \leq 17913 \quad (\text{burada } y\text{'nin birimi mm})$$

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



Kaya için p-y eğrileri

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

t-z Eğrileri API WSD RP-2A (2000):

Kil		Kum	
z/b	t/t_{maks}	z (cm)	t/t_{maks}
0.	0.	0	0.00
0.0016	0.30	2.54	1.00
0.0031	0.50	>2.54	1.00
0.0057	0.75		
0.0080	0.90		
0.0100	1.00		
0.0200	0.70 – 0.90		
>0.0200	0.70 – 0.90		

t_{max} değerleri f_s (çevre sürtünme direnci) değeri kazık çevresi ile çarpılarak hesaplanır.

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

t-z Eğrileri

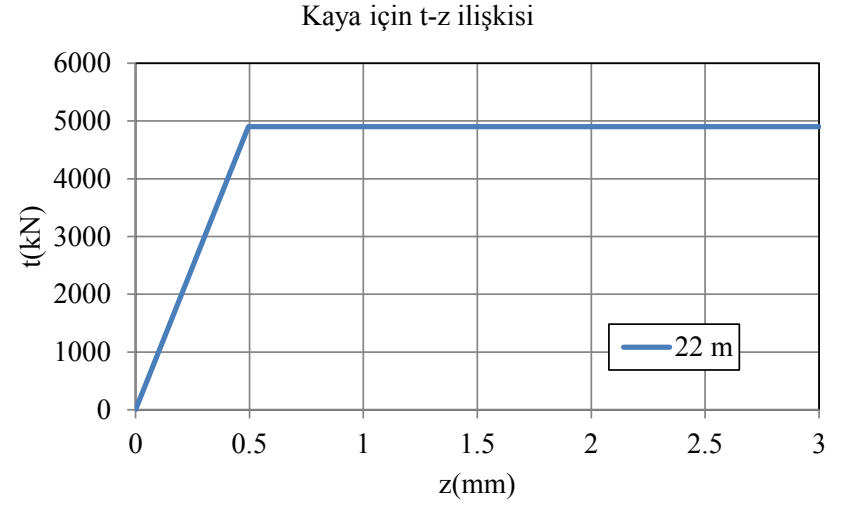
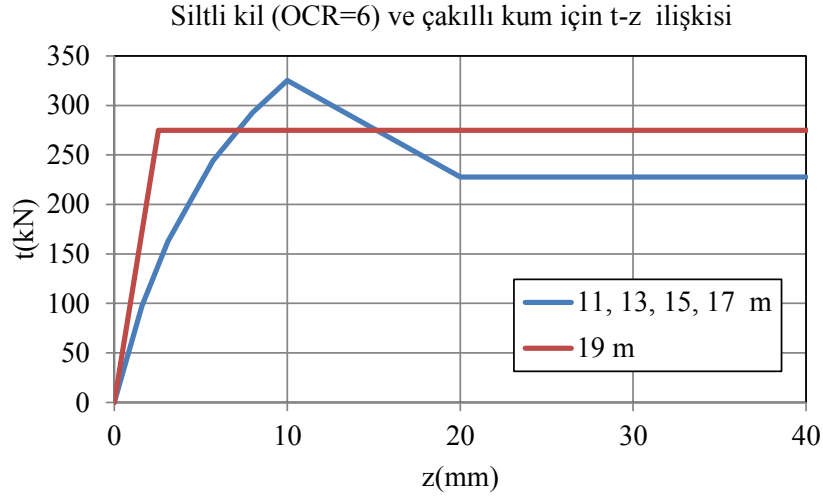
Örneğin, derinlik 4.00-10.00 m arasında , $t_{\max} = f_s \cdot \pi \cdot b = 51.0 \cdot \pi \cdot 1.00 = 135 \text{ kN/m}$

$t - z$ ilişkisini modelleyen doğrusal olmayan yaylar $\Delta L = 2.00 \text{ m}$ aralıkla yerleştirildiğinden, hesaplanan t (kN/m) değerleri 2.00 m ile çarpılmalıdır.

Derinlik (m)	Çevre (şaft) Direnci	Uç Direnci
4.00 -10.00	$f_n = -24.3 \text{ kPa}$	
10.00 - 18.00	$f_s = 51.0 \text{ kPa}$	
18.00 - 20.00	$f_s = 43.0 \text{ kPa}$	
20.00 - 22.00	$f_s = 780 \text{ kPa}$	$f_u = 24.0 \text{ MPa}$

Kayada soketlenen kısım (21 m derinlikte yer alan yay) için ise bilineer ilişki kabul edilmiştir. Elastik kısımda yay katsayısı $(4900 \text{ kN} / 1.5) / 0.63 \text{ mm} = 5185 \text{ kN/m}$ olarak hesaplanır. Sınır yük ise $4900 \text{ kN} (=f_s \cdot \pi \cdot b \cdot \Delta L)$ olarak belirlenmiştir.

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Q-z Eğrileri

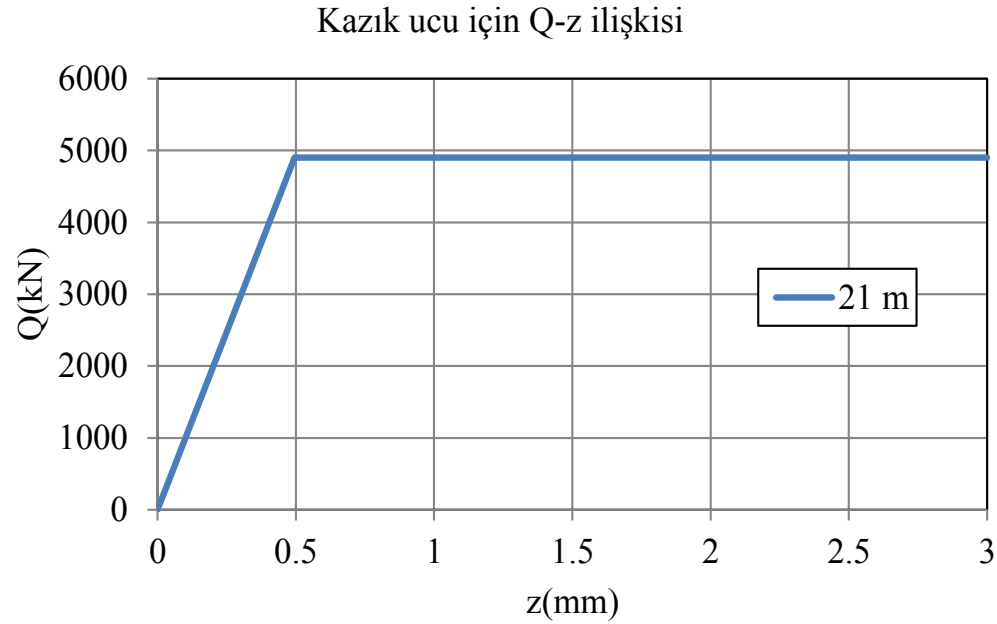
- API WSD RP-2A (2000): Zeminler için $Q=Q_p$ sınırına ulaşılması için kazık çapının %10'u kadar oturma gerektiği kabulüne dayanır.

z/b	Q/Q_p
0.002	0.25
0.013	0.50
0.042	0.75
0.073	0.90
0.100	1.00

- Kazık ucunda kaya birimler yer alması durumunda, kazık ucunda moloz mevcut değilse, $Q=Q_p$ yük seviyesinde kazık uç oturması hesaplanarak kullanılması yeterli bir yaklaşım olarak görülebilir. **TBDY Tablo 16.4** ile verilen faktör sebebi ile kaya üzerinde Q-z ilişkisinin doğrusal olduğu kabul edilebilir.

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Q-z eğrileri



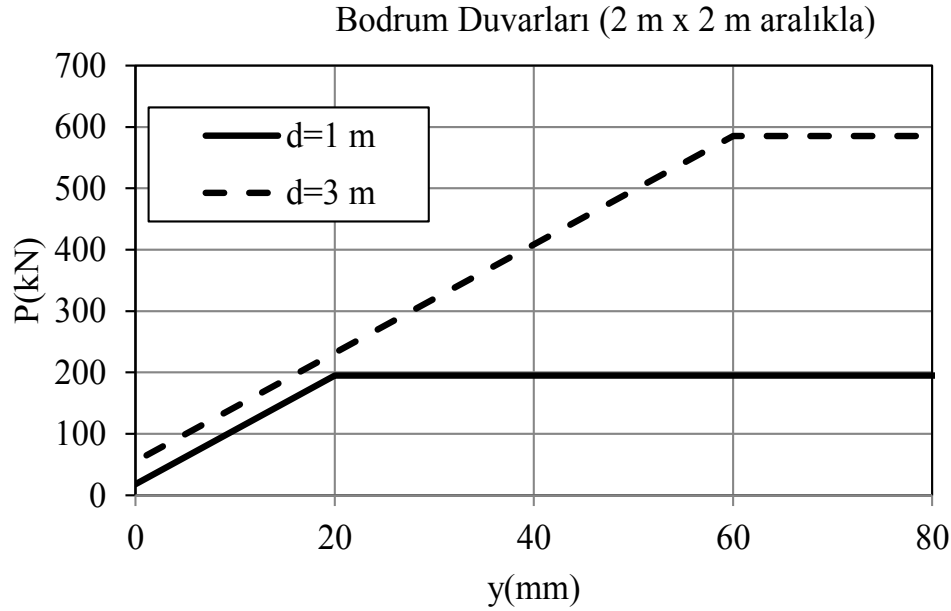
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Bodrum perde duvarları için p-y Eğrileri

- **TBDY Ek 16C.4.2.1** gereğince bodrum perde duvarları üzerindeki itki doğrusal olmayan p-y benzeri ilişki ile sağlanacaktır.
- **TBDY’de** bu hesap için bir kaynakça verilmemiştir. Özellikle pasif toprak basıncının gelişimi için gerekli deplasman seviyesi imalat detayları, hafriyatın özellikleri, dolgunun ve çevresindeki dolgunun özellikleri, duvar-zemin sürtünme açısı, duvar üzerindeki deplasmanların dağılımından etkilenmektedir (Potts ve Fourie, 1986; Wilson ve Elgamal, 2010). Bu detayların göz önüne alınmadığı durumlarda, perde duvarlara etkiyen yüklerin tespiti için basitleştirilmiş p-y ilişkileri kullanmak gerekecektir.
- Duvar üzerine etkiyen pasif direncinin yaklaşık hesabı için Imbsen (2007: AASHTO-2007) tarafından kazık başları için önerilen basit bilineer yük deformasyon ilişkisi kullanılmıştır. Bu yaklaşık hesaba göre, duvar önünde **pasif zemin direncine δ** kadar yatay deplasmanda ulaşılmaktadır. Sıkıştırılmış kumlarda bu oran yaklaşık **0.01H**, sıkıştırılmış killi zeminlerde ise **0.05H** mertebesinde.

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

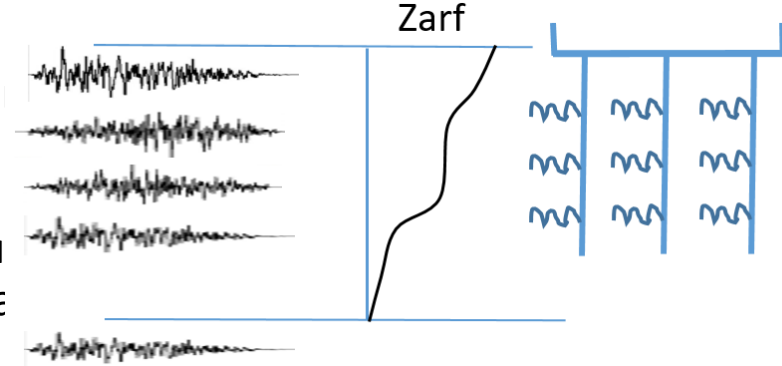
Bodrum perde duvarları için p-y Eğrileri



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Tek Boyutlu Serbest Zemin Davranışı Analizi

- Tek boyutlu serbest zemin analizleri on bir adet deprem kaydı ile gerçekleştirilmeli ve p-y eğrilerini yerleştirildiği her bir düğüm noktası derinliğinde zamana bağlı toplam yer değiştirme hesaplanarak zamana göre maksimumlarının zarfı alınmalıdır. Bu deplasmanlar kinematik analiz için arttırımsal olarak p-y yaylarının diğer (yapısal elemanlara bağlı olmayan) uçlarına uygulanmalıdır.
- **TBDY 16.5.2.1** zeminin doğrusal olmayan modelinde, kayma birim şekil değiştirmesine bağlı kayma modülü ve eşdeğer histeretik sönüm katsayısının deney veya benzer zemin koşulları için literatürde yer alan ve genel kabul gören bilgilere göre tanımlanmasını gerektirmektedir.
- Bu doğrultuda, DEEPSOIL programı (Hashash vd., 2016) kullanılmıştır.



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

File Input Summary Convert Units Options Help

Analysis Motions Profiles

New Profile

Open Profile

Navigation

Step 1

Step 2

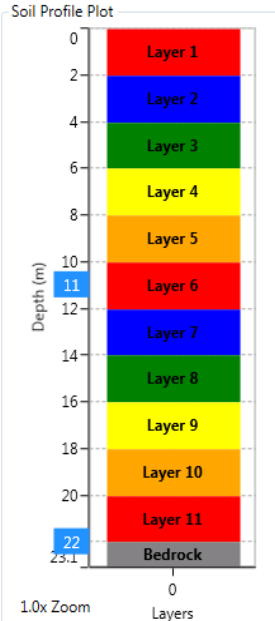
Step 3

Step 4

Step 5

Results

Soil Profile Definition



Soil Profile Metrics

Total Profile Depth 22
Profile Natural Frequency (Hz): 1.989
Profile Natural Period (sec): 0.5028

Back

Layer Properties

Advanced Table View

Layer 6 - "Katkı Siltli Kil"

Current Soil Properties

Layer Name Katkı Siltli Kil

Basic Soil Properties

Parameter	Value
Thickness (m)	2
Unit Weight (kN/m ³)	20
Shear Wave Velocity	250
Effective Vertical Stress	113.33
Shear Strength (kPa)	120

Soil Model Properties

Parameter	Value
Dmin (%)	0.934679816100072
Theta1	-0.769999999999999

Saved Materials

Load

Other Material Files

Select File...

Reference Curve

Sand Clay User Defined

Reference Curve: Darendeli, 2001

Plasticity Index: 15

Parameter	Value	Strain	G/G _n	Damp
OCR	6	0.000	0.997	0.951
K _o	1	0.000	0.992	0.992
N	3	0.001	0.978	1.137
Frequency	1	0.003	0.943	1.538

Curve Fitting

Fitting Procedure: MRDF with L

Fit

Parameter	Value	Strain	G/G _n	Damp
Dmin (%)	0.9347	0.0001	0.9981	0.9557
Shear Str	120	0.0003	0.9944	0.9992
Theta1	-0.77	0.001	0.9817	1.147
Theta2	-2.9	0.003	0.9476	1.55
Theta3	12.02	0.01	0.8489	2.772
Theta4	1	0.03	0.6672	5.338
Theta5	0.99	0.1	0.4012	10.35

Single Element Test

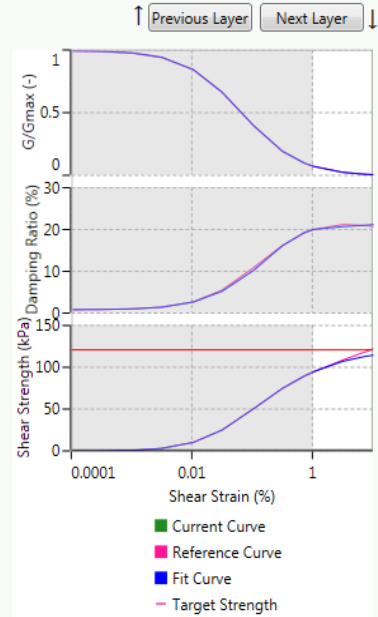
☒ Water table at top of layer:

3

Add Layer(s)

Remove Layer(s)

Check Data



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

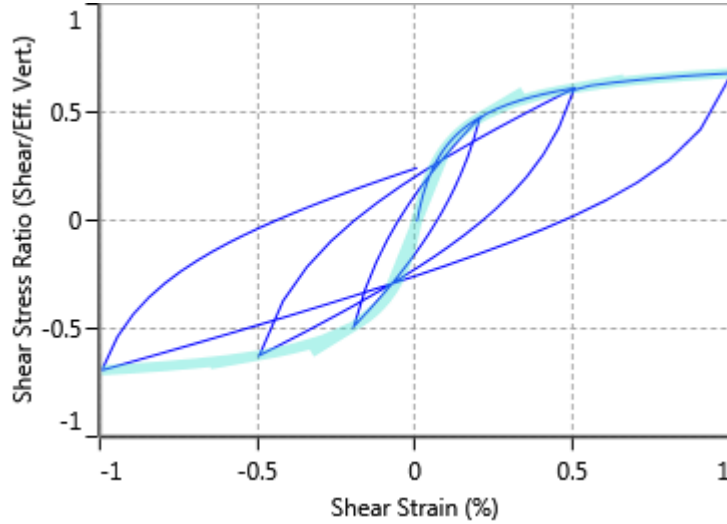
Tek Boyutlu Serbest Zemin Davranışı Analizi- DEEPSOIL analizleri

- Modelde zemin yüzeyinden itibaren, her 2.0 m arayla bir analiz katmanı tanımlanmıştır.
- Sönümlleme ve kayma modülündeki birim şekil değiştirmesine bağlı değişim için Darendeli (2001) tarafından tanımlanan model seçilmiştir. Bu modelde, çevrimsel yük frekansı 1 Hz olarak tanımlanmış ve 3 yük çevrimi sonrası için parametrelerin belirlenmesi seçilmiştir.
- K_o (yatay basınç katsayısı) PI ve OCR değerlerine dayanan ampirik bağlantılar kullanılarak tahmin edilmiştir. Her katmanın kesme dayanımı Mohr-Coulomb bağıntısı ile tahmin edilmiştir (kohezyonsuz dolgu ve kum katmanının kayma mukavemeti, $\tau_f = \sigma_n' \cdot \tan\phi'$ ve kil için $\tau_f = c_u$)
- Tüm modellerde doğrusal olmayan modelin parametrelerinin belirlenmesinde yöntem olarak MRDF-UIUC seçilmiştir
- Kaya katmanının soketlenmiş kısmı lineer olarak modellenmiş ve sönümlleme oranı %1 ile sınırlandırılmıştır.
- Yer hareketi saha modelinde (kaya) tanımlanırken, **TBDY 16.2.3** ile uygun olarak bu noktanın rijit olduğu kabul edilmiştir.

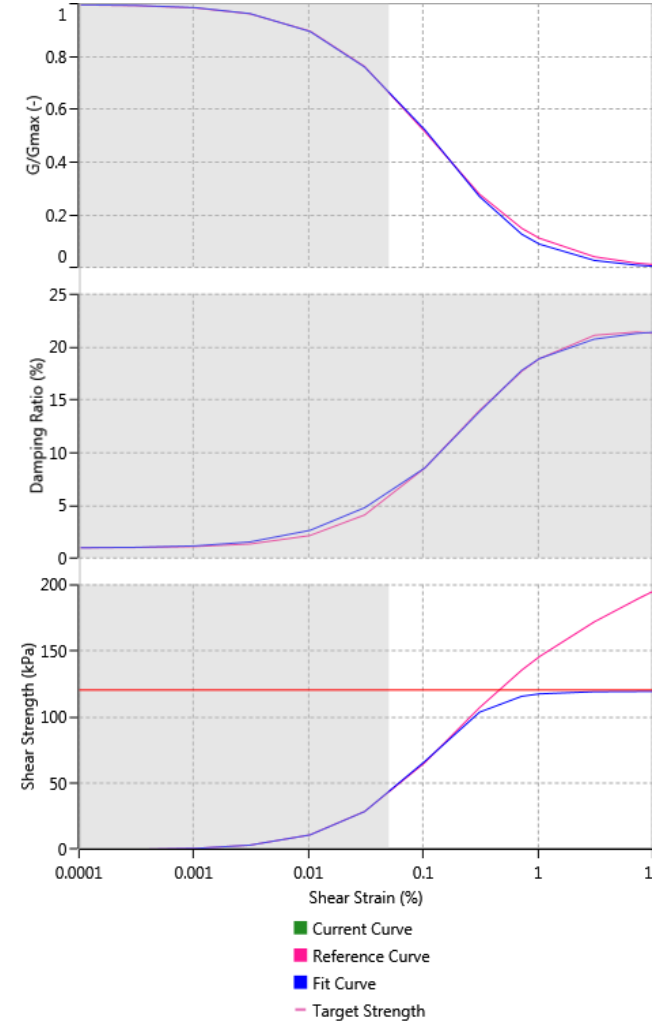
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

N_o	Tanım	$h(m)$	γ (kN/m^3)	V_s (m/s)	K_o	OCR	Referans Eğrisi	τ_f (kN/m^2)
1	Dolgu	2	15	130	0.4	1	D2001 Kum, $PI=0$	9.4
2	Dolgu	2	15	130	0.4	1	D2001 Kum, $PI=0$	28
3	Kil	2	17	110	0.7	1.5	D2001 Kil, $PI=35$	30
4	Kil	2	17	110	0.7	1.5	D2001 Kil, $PI=35$	30
5	Kil	2	17	110	0.7	1.5	D2001 Kil, $PI=35$	30
6	Katı Siltli Kil	2	20	250	1.2	6	D2001 Kil, $PI=15$	120
7	Katı Siltli Kil	2	20	250	1.2	6	D2001 Kil, $PI=15$	120
8	Katı Siltli Kil	2	20	250	1.2	6	D2001 Kil, $PI=15$	120
9	Katı Siltli Kil	2	20	250	1.2	6	D2001 Kil, $PI=15$	120
10	Çakıllı Kum	2	21	340	0.4	1	D2001 Kum, $PI=0$	140
11	Kaya	2	24	800				

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



DEEPSOIL tarafından üretilen katı siltli kil için doğrusal olmayan modelin yük çevrimleri altında histeretik davranışı



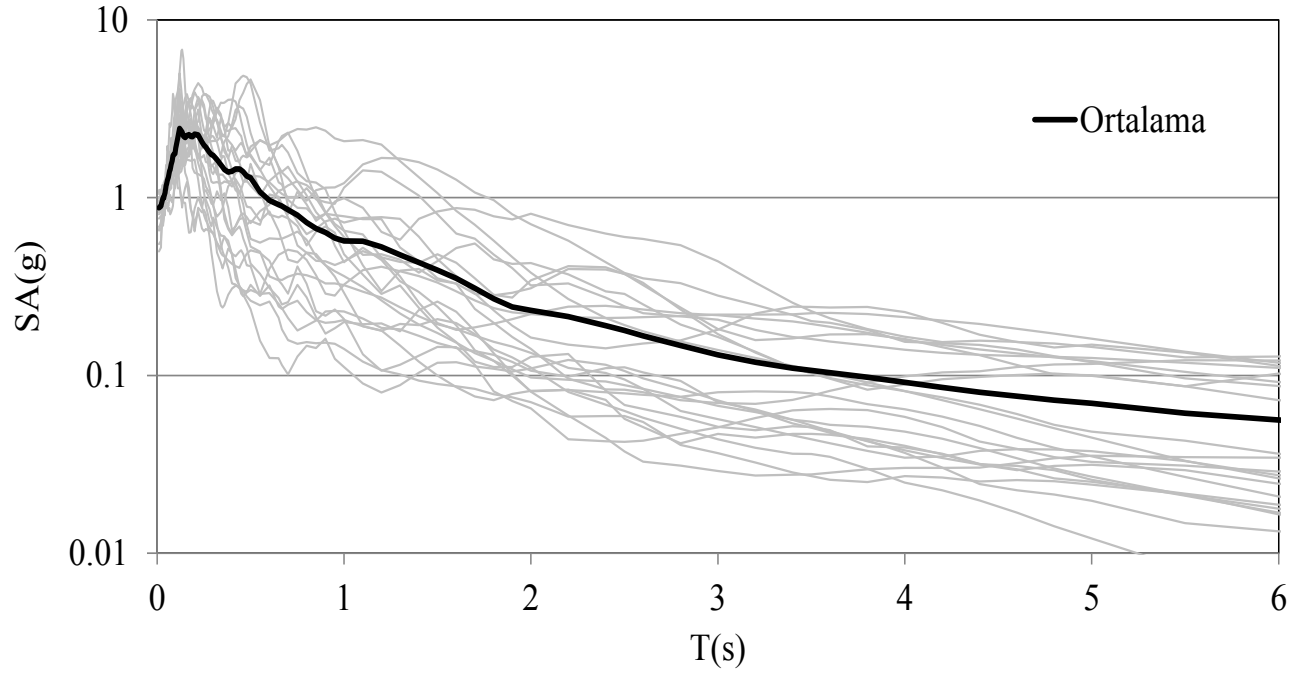
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Tek Boyutlu Serbest Zemin Davranışı Analizi- Yer hareketi kayıtları seçimi

- On bir adet yer hareketi, PEER yer hareketi veri tabanından (ngawest2.berkeley.edu) ölçeklendirmesi yapılarak seçilmiştir.
- Hedef spektrum olarak, **TBDY 16.5.2.2** ile uygun olarak, (DD-2) ZB zemin sınıfı için belirlenmiş tasarım spektrumu kullanılmıştır.
- **TBDY 2.5.3** zemin davranış analizinde kullanılacak yer hareketlerinin, tasarım spektrumuna spektral uyum sağlayacak şekilde dönüştürülmesi ile elde edilebileceğini belirtmektedir. Ancak bu tip dönüşüm gerçekçi olmayan yapay yer hareketleri üretebildiği kanaati sebebi ile, gerçek deprem kayıtlarının basit ölçeklendirilmesi yöntemi (**TBDY 2.5.2**) tercih edilmiştir.
- **TBDY 2.5.3**'de verilen kural ile uygun olmak üzere, yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamalarının, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmaması amaçlanmıştır. Bu maddede karşılaşılan önemli bir sorun, kısa periyotlarda ($T < T_A = 0.047s$) tasarım spektrumunun S_A ve T arasındaki ilişkinin lineer olduğu kabulüdür. Bu basitleştirme, gerçek deprem kayıtları ile çelişkilidir.
- Bu sebeplerle, spektrum ortalamaları karşılaştırılırken minimum periyodun T_A olarak sınırlandırılması gerekli olmuştur. Üst sınır ise, tasarım spektrumunun T_L değeri (6.0 s) olarak alınmıştır. Kayıtların seçiminde minimum deprem magnitüdü 6.0, ve ölçeklendirme faktörü için aralık 0.25-4.0, $(V_s)_{30}$ için minimum değer 500 m/s olarak seçilmiştir.

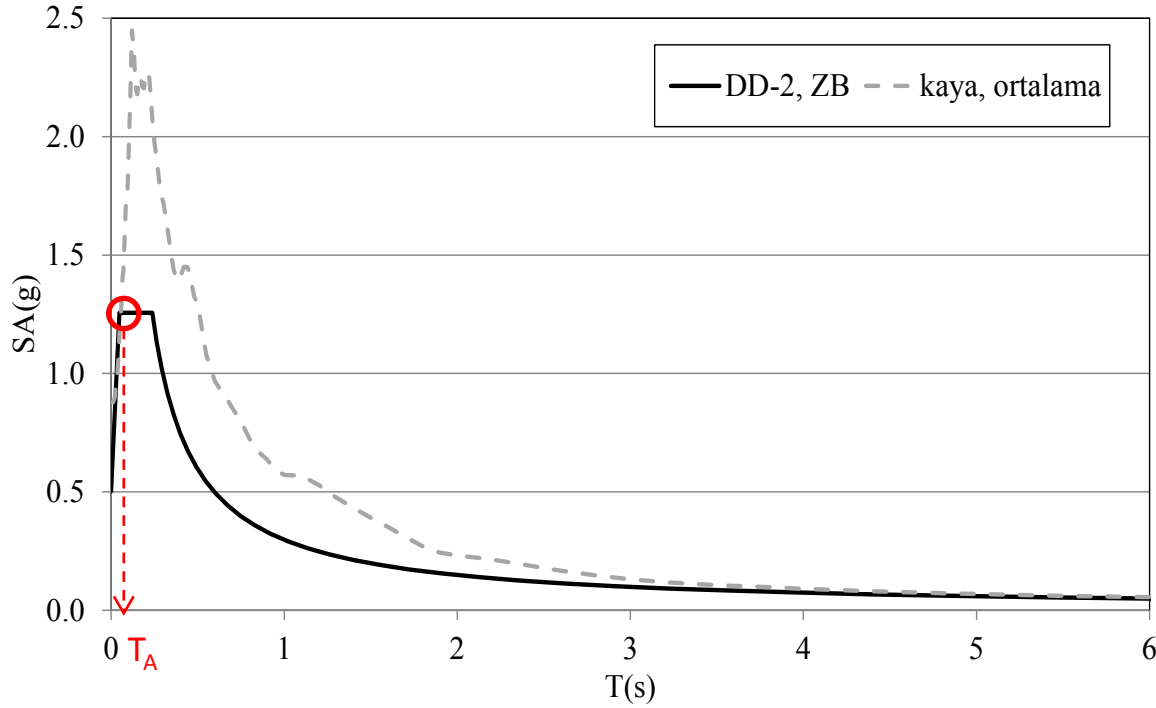
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Ortalama spektrum

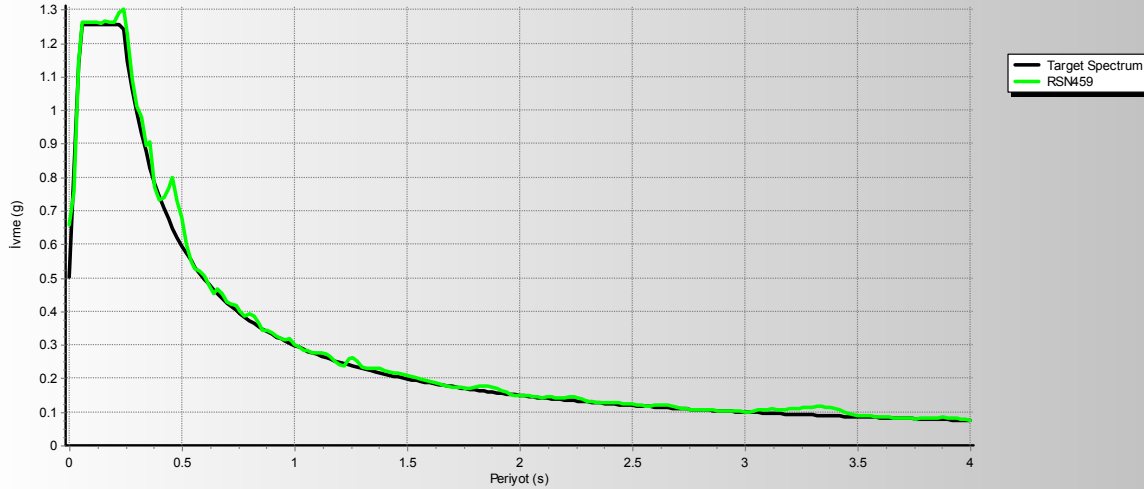
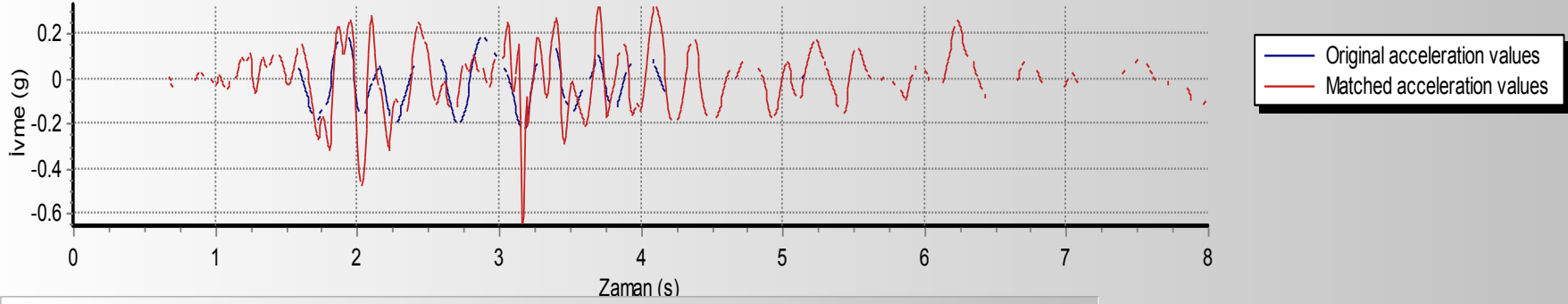


Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Kaya için tasarım spektrumu (TBDY-TDTH) ile ortalama spektrumun karşılaştırması



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



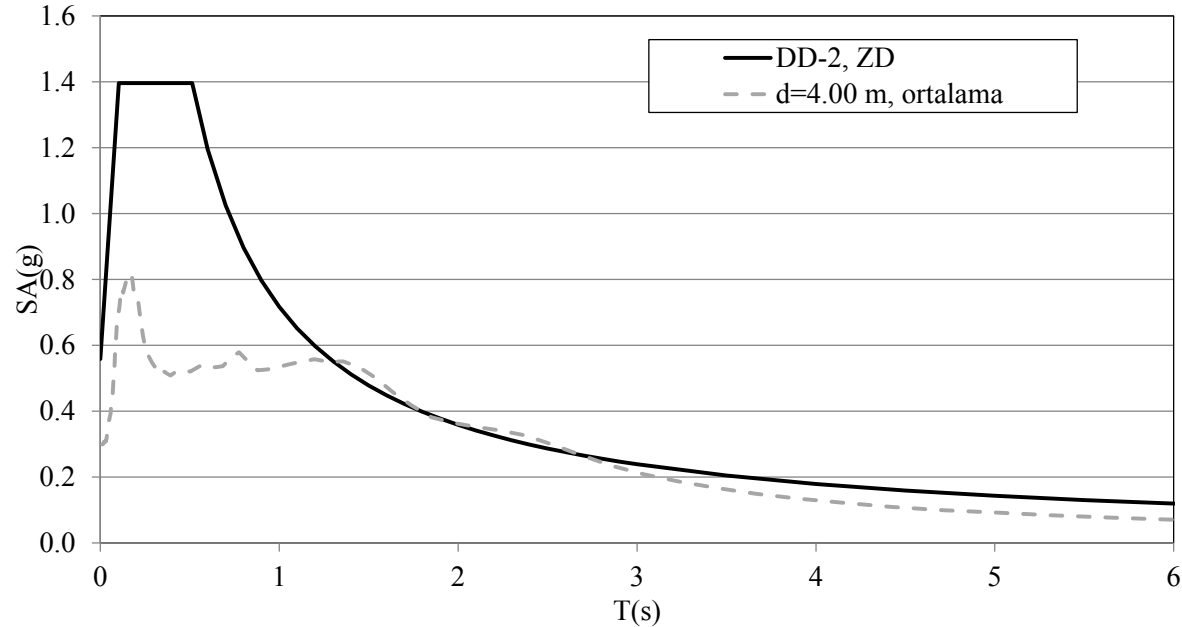
Spetral Uyuşum
(örnek, tek kayıt)

SeismoMatch
programı ile
hesaplanmıştır.

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Kaya için tasarım spektrumu (TDTH) ile ortalama spektrumun karşılaştırması

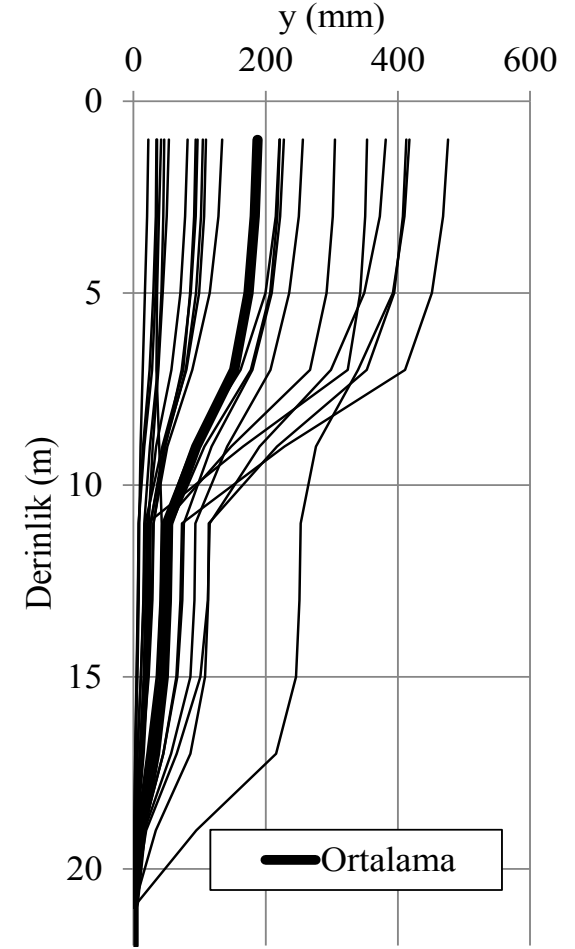
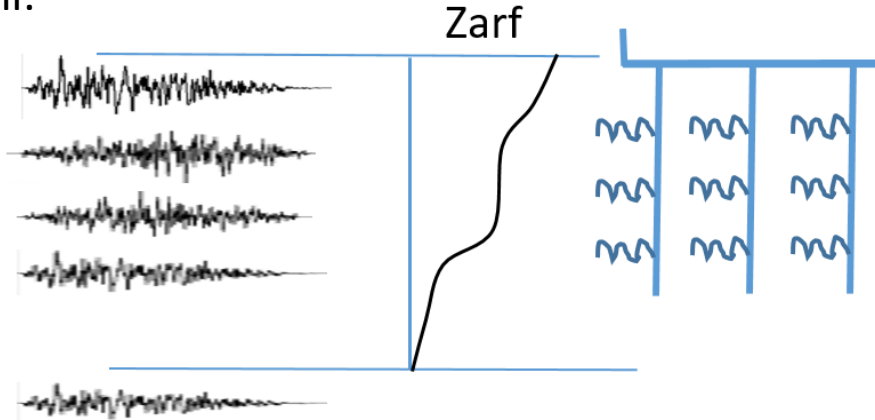
TBDY Ek 16C.4.2.3 eylemsizlik etkileşimi hesabında kullanılan spektrumun ordinatlarının temel tabanında tanımlanan yerel zemin sınıfı için verilen tasarım spektrumunun ordinatlarından daha küçük olamayacağını belirtmektedir.



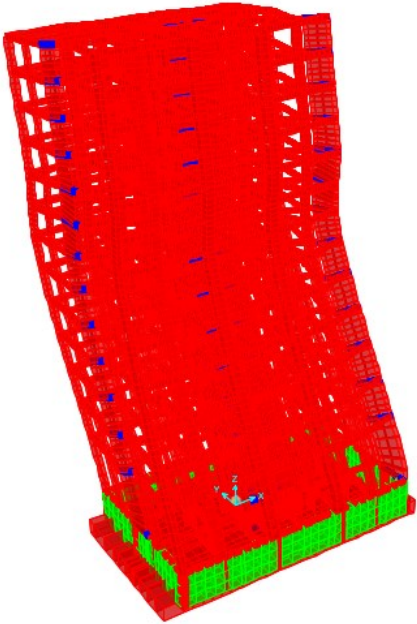
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Maksimum Deplasman Zarfları

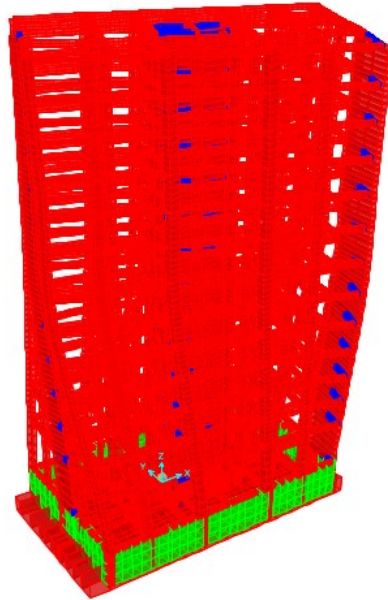
- Bu deplasman zarfları **TBDY Ek 16C.4.2.1.(d)** doğrultusunda kinematik kazık-zemin etkileşimi hesapları için p-y yaylarına basınç yönünde arttırımsal olarak uygulanacaktır.
- **TBDY Ek 16C.4.2.2** doğrultusunda on bir deprem kaydı için elde edilen en büyük kazık kuvvetlerinin mutlak değerinin ortalaması ile kinematik etkileşim analizi sonucu oluşturulacaktır.



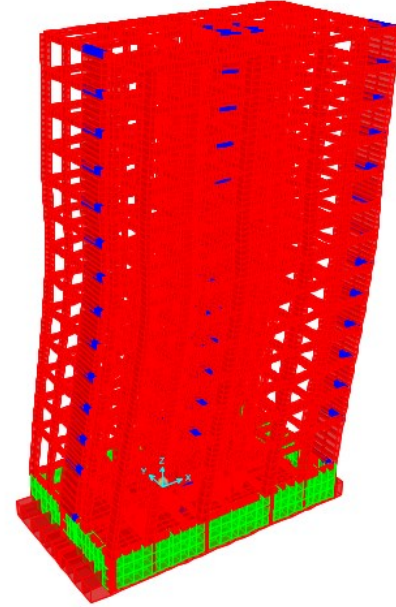
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



$T_1=0.74 \text{ sn}$

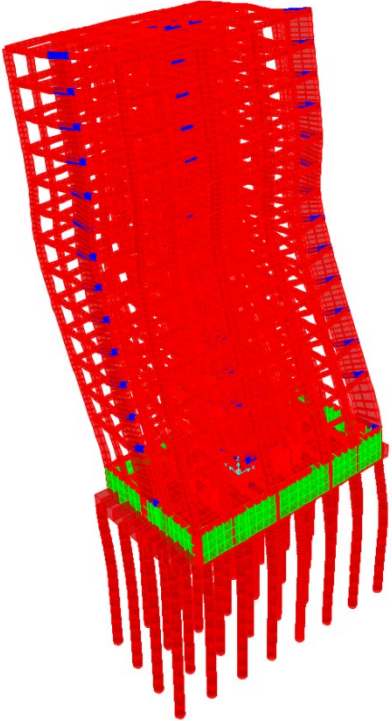


$T_2=0.64 \text{ sn}$

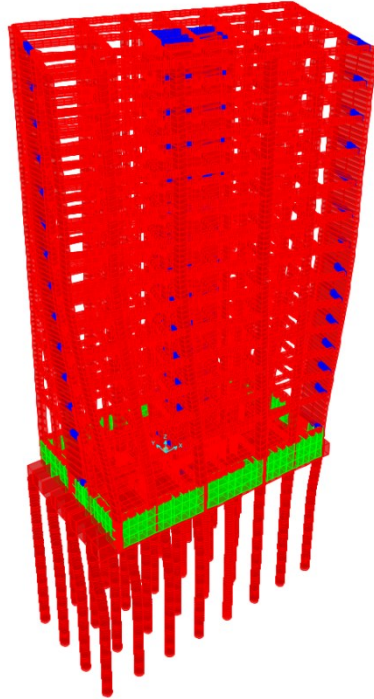


$T_3=0.55 \text{ sn}$

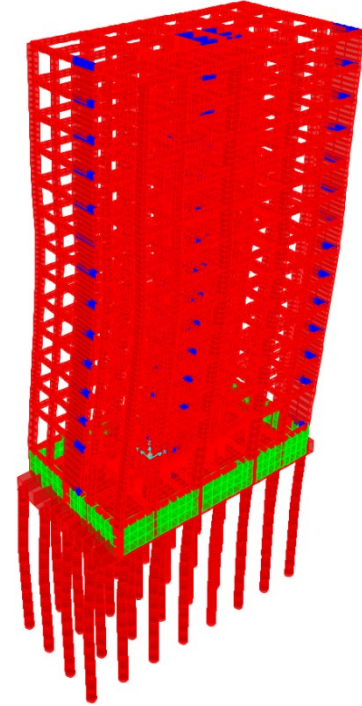
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



$$T_1=0.83 \text{ sn}$$

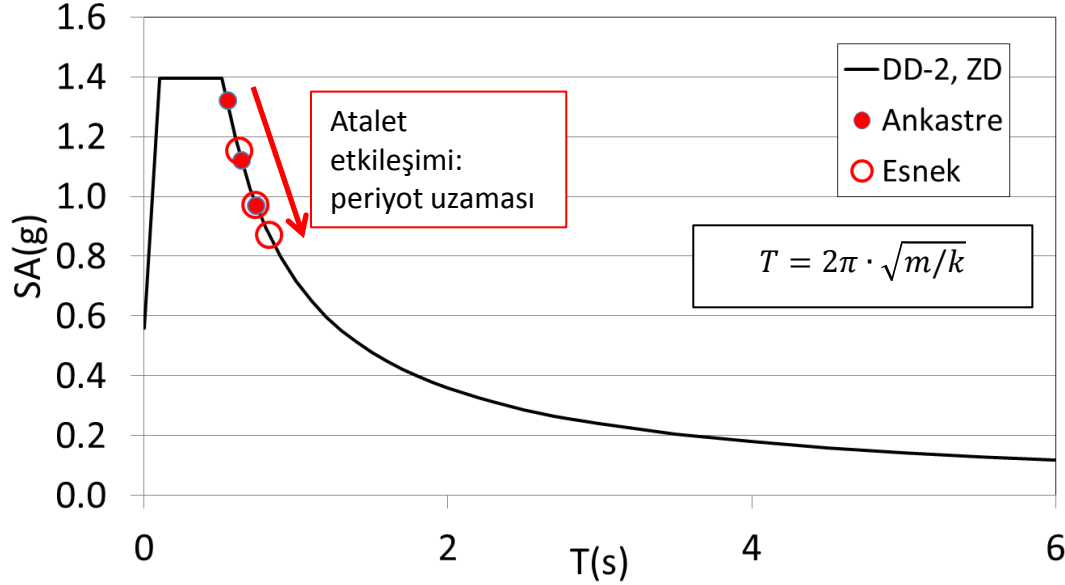


$$T_2=0.74 \text{ sn}$$



$$T_3=0.63 \text{ sn}$$

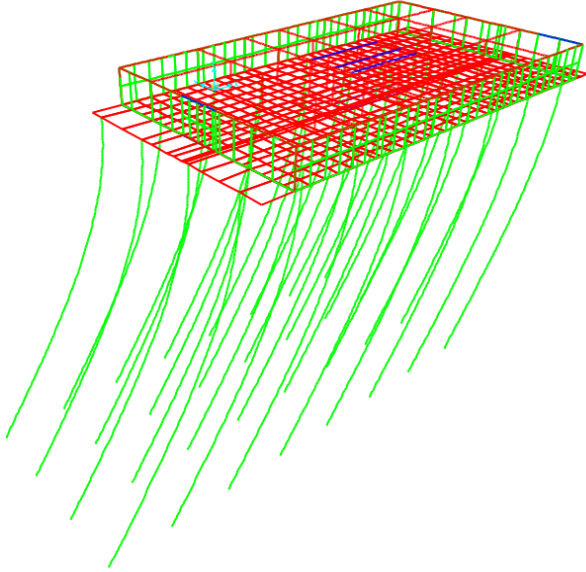
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



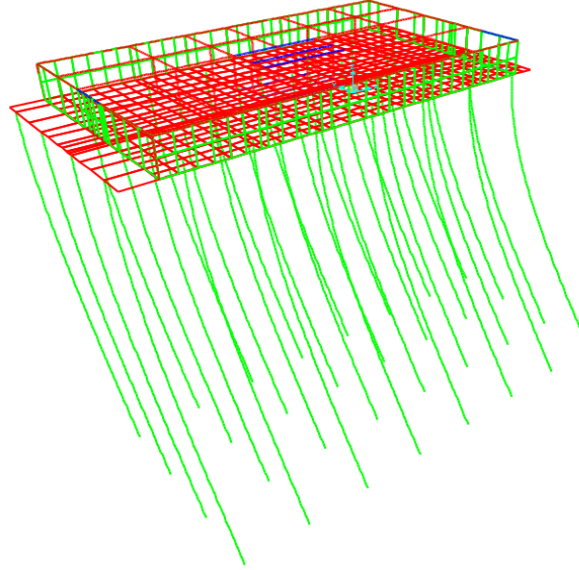
Temelde toplam kesme kuvveti	Deprem X Yönü (kN)	Deprem Y Yönü (kN)
Kazıklı Model	11090	11059
Kazıksız Model	14470	14333

Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

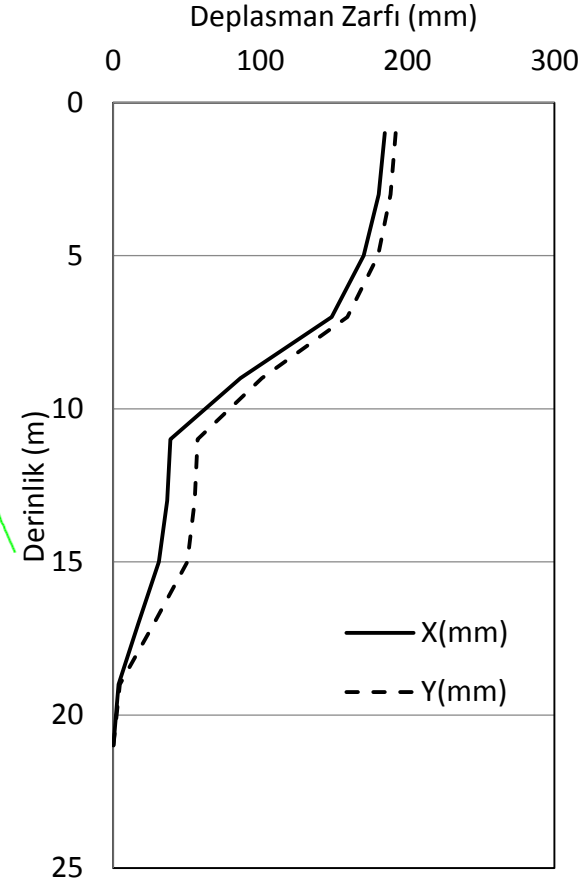
Kinematik Tesirler:



X yönü temel deplasmanı

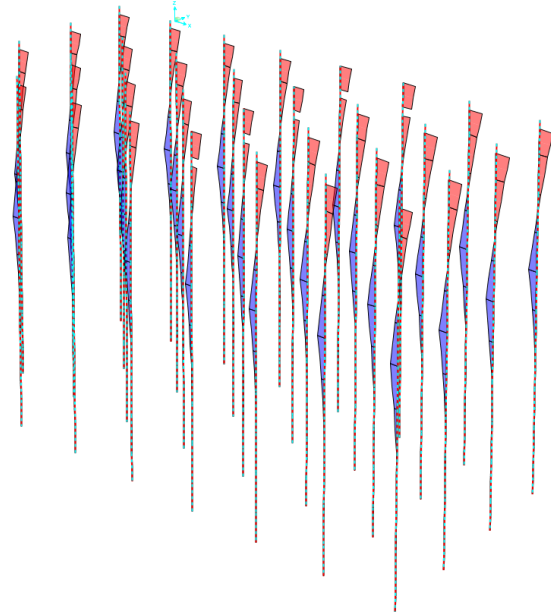


Y yönü temel deplasmanı

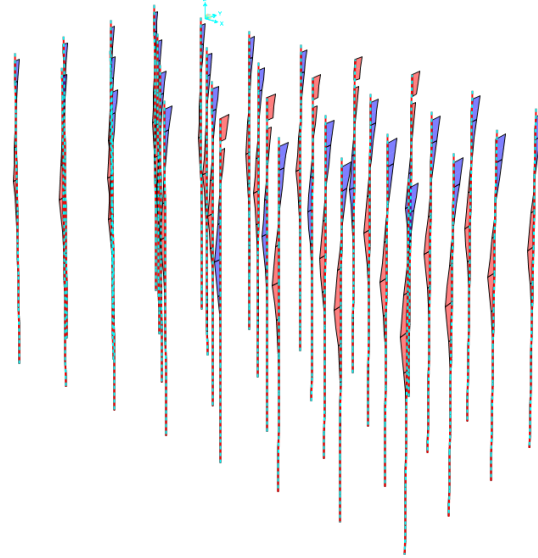


Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

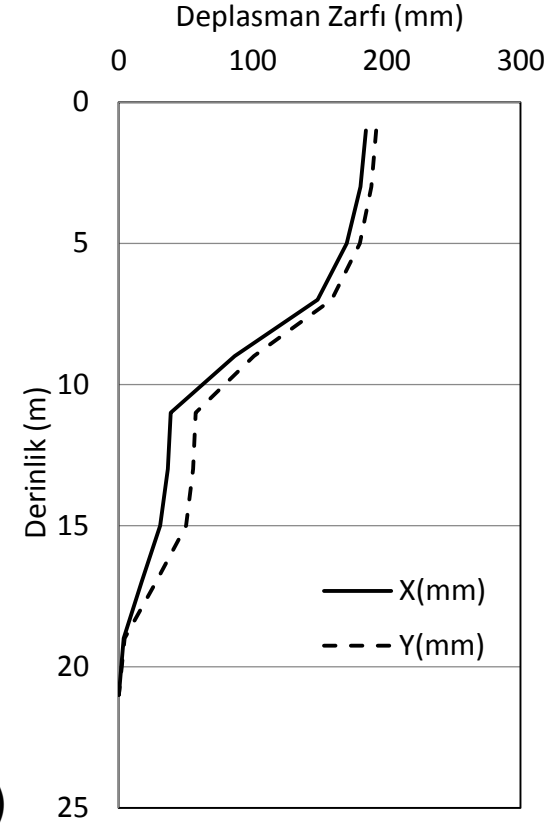
Kinematik Tesirler:



Kazık Moment Değerleri (M_{xx})



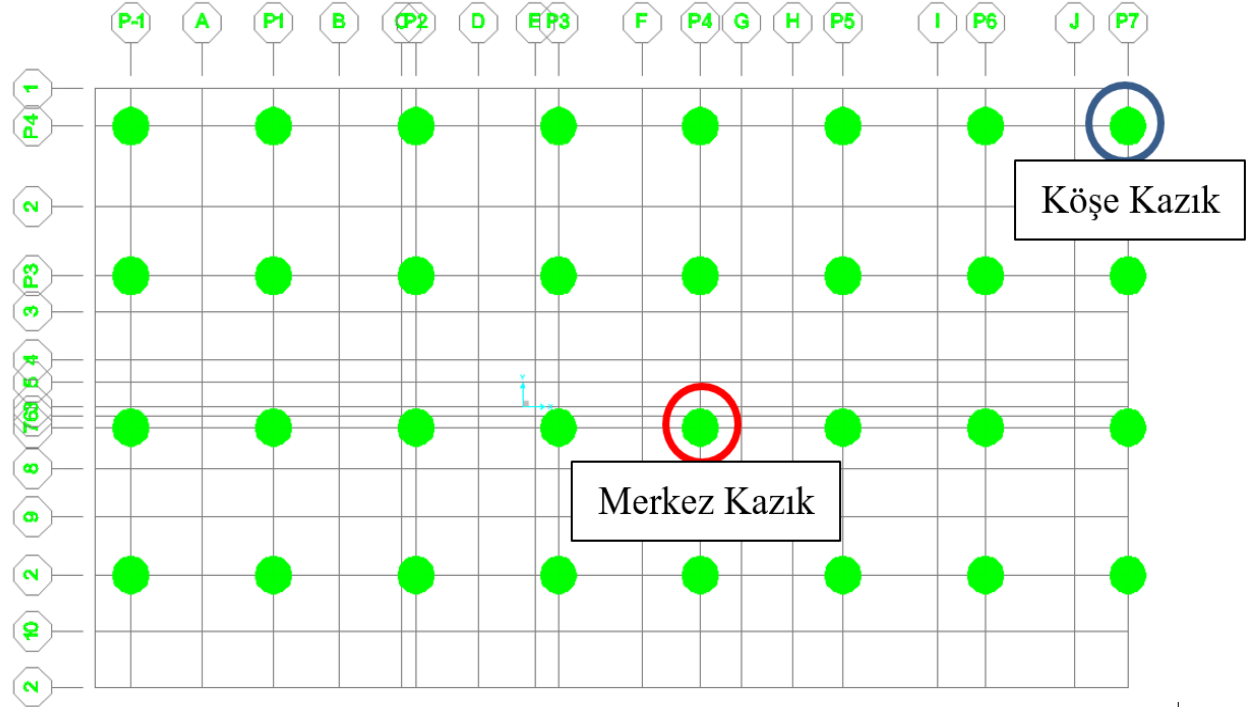
Kazık Moment Değerleri (M_{yy})



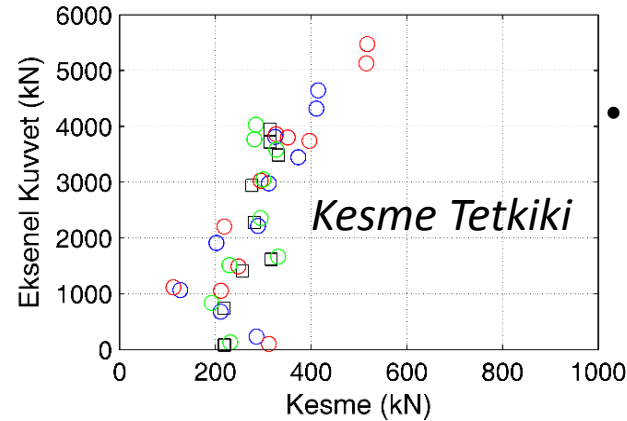
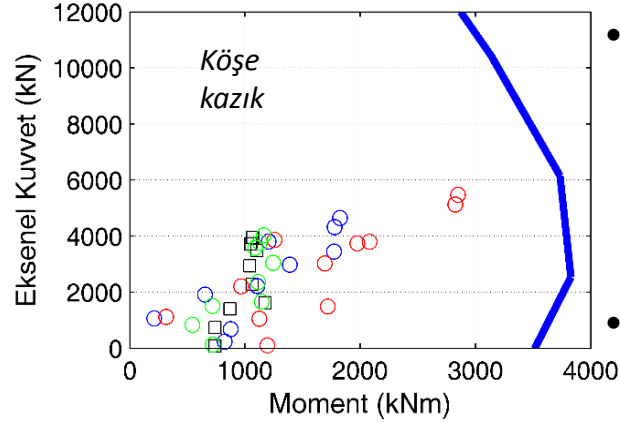
Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

Depremlî yük kombinasyonları

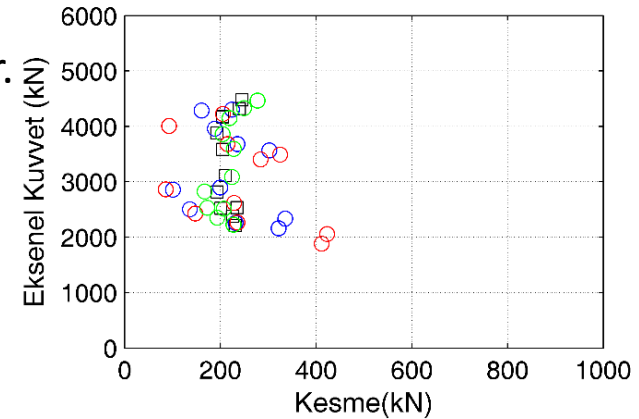
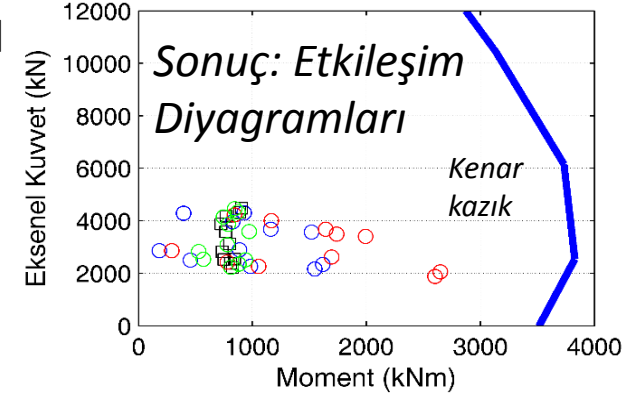
'EX'
'EY'
'0,9G+EY'
'0,9G+EX'
'0,9G+EX+0,3EY'
'0,9G+EY+0,3EX'
'G+0,3Q+EX+0,3EY'
'G+0,3Q+EY'
'G+0,3Q+EY+0,3EX'
'G+Q+EX'
'G+Q+EX+0,3EY'
'G+Q+EY'
'G+Q+EY+0,3EX'
'G+Q-EY'
'G+Q-EY+0,3EX'



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı



- Kırmızı noktalar en kötü, yeşil noktalar ise en zayıf deprem durumunu göstermektedir. Ortalama deprem durumu mavi ile gösterilmiştir.
- Şekillerde siyah ile gösterilen noktalar sadece eylemsizlik analizi sonucunda kazıkta elde edilen istem değerleridir.
- Kazıklarda kullanılan donatı (12 $\phi 18$) ile elde edilen etkileşim eğrisi tasarımın güvenli olduğunu göstermektedir.



Kazıklı temellerin deprem etkisi altında hesabı

İlginiz için teşekkür ederiz...